

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE MATERIAL ORGÁNICO (Compost de cachaza) Y MATERIAL INORGÁNICO (Fertilizante químico) EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN FINCA MORENAS FERNÁNDEZ, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO MAGDALENA S.A. LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**DANNY EDÉN ISAÍAS SANTOS GONZÁLEZ**

**GUATEMALA, MAYO DE 2019**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE MATERIAL ORGÁNICO (Compost de cachaza) Y MATERIAL INORGÁNICO (Fertilizante químico) EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN FINCA MORENAS FERNÁNDEZ, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO MAGDALENA S.A. LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADO**

**POR**

**DANNY EDÉN ISAÍAS SANTOS GONZÁLEZ**

**GUATEMALA, MAYO DE 2019**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL I	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL II	Dra. Griselda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Carlos Waldemar De León Samayoa
VOCAL V	P. Agr. Marvin Orlando Sicajau Pec
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, mayo de 2019

Guatemala, mayo de 2019

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el TRABAJO DE GRADUACIÓN: **EVALUACIÓN DE NIVELES DE MATERIAL ORGÁNICO (Compost de cachaza) y MATERIAL INORGÁNICO (Fertilizante químico) EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN FINCA MORENAS FERNÁNDEZ, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO MAGDALENA S.A. LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**DANNY EDÉN ISAÍAS SANTOS GONZÁLEZ**

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**DIOS** Por ser la fuente de vida, sabiduría y salvación de este mundo.

**MI PADRE** Juan Santos Milián, por enseñarme el camino de la verdad y ser ese ejemplo en todo momento.

**MI MADRE** Guadalupe González por ser mi fiel amiga, mi amor y mi gran consejera en el camino moral y espiritual.

**A MIS HERMANOS** Juan Manuel Santos González, Abder Alexis Santos González, Noé Ezequías Isaac Santos González por todo el apoyo brindado en el transcurso de esta carrera.

**A MI ABUELO (†)** Romeo Noé Santos Barrios, por el amor y cariño que guardo en mis recuerdos.

**A MIS ABUELAS** Susana González Ruiz, Gregoria Milián Cantoral por ser esas mujeres de fe, amor y consejeras en todo momento; acompañando a mis padres en cada situación de la vida.

**A MI CUÑADA** Dulce Judith Pérez Cruz por ese ejemplo de perseverancia y desafío por lograr metas.

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO**

**A:**

Mi Guatemala, patria quería tierra bendecida por Dios; de gente trabajadora, luchadora y respetuosa.

Mi aldea El Terrero, La Gomera, Escuintla, por ser la tierra que me vio nacer, mis familias y paisanos como también lugar donde residí durante el ejercicio profesional supervisado EPS.

Al lugar de Patzún, Chimaltenango, de personas trabajadoras y humildes, que me vio crecer y brindarme la oportunidad de dar los pasos en el desarrollo de mi profesión académica.

Mi padre Juan Santos Milián y mi madre Guadalupe González por ver cumplido esta meta que un día nos imaginábamos y pensábamos que nunca llegaría, pero con la ayuda absoluta de Dios ahora es una realidad.

A mi novia Libni Abigaíl Hernández Cabrera por su apoyo incondicional.

A mis compañeros de la Gloriosa Facultad de Agronomía.

A la gloriosa y tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, alma Mater.

A la Facultad de Agronomía, sus profesores y personal administrativo por brindarme educación de alta calidad en mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

**DIOS**

Por darme la vida, guardarme cada día del peligro y por darme la sabiduría e inteligencia en mi formación como profesional.

**La Gloriosa Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

“Grande entre las del mundo”

**Ingenio Magdalena S.A.**

Por darme la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado EPS., y en especial al Ingeniero Luis Tuchán jefe del Departamento de Investigación Agrícola por confiar en mi persona y brindarme todo el apoyo necesario para cumplir con mi proyecto, coordinadores y trabajadores de las actividades de campo.

**Mi supervisor Ing. Agr. Fernando  
Rodríguez Bracamontes**

Por orientarme en la última etapa de mi formación académica brindándome conocimiento y ayuda en elaboración del trabajo de graduación.

**Mi asesor Dr. Aníbal Sacbajá**

Por su valioso tiempo en asesorarme con conocimiento científico y guiarme en la finalización de mi trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
RESUMEN .....	vii
CAPÍTULO I .....	1
DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA EN LAS ÁREAS DE MALEZAS, CONCENTRADORES DE AZÚCAR E INHIBIDORES DE FLOR, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA.....	1
1.1    Presentación .....	2
1.2    Marco Referencial .....	3
1.3    Objetivos .....	4
1.3.1 General .....	4
1.3.2 Específicos .....	4
1.4    Metodología y recursos .....	5
1.4.1 Etapa de recolección de información primaria .....	5
a.    Observación de campo.....	5
b.    Entrevista a investigadores .....	5
1.4.2 Identificación de problemas .....	6
1.4.3 Recursos utilizados .....	6
1.5    Resultados .....	6
1.5.1 Departamento de Investigación Agrícola .....	6
1.5.2 Deberes y actividades del Departamento de Investigación Agrícola.....	7
1.5.3 Estructura organizacional del Departamento de Investigación Agrícola.....	7
1.5.4 Funciones de los principales cargos en el Departamento de Investigación Agrícola .....	8
1.5.4.1 Gerente del área de División de Investigación Agrícola .....	8
1.5.4.2 Jefe Departamento de Investigación Agrícola .....	8
1.5.4.3 Investigador de región.....	8
1.5.4.4 Supervisor de labores.....	8
1.5.5 Recursos físicos .....	9
1.5.5 Recomendaciones por parte del departamento en malezas, madurantes e inhibidores de flor .....	10

	Página
1.5.5.1 Malezas.....	10
1.5.5.2 Madurantes .....	10
1.5.5.3 Inhibidores de flor.....	11
1.6 Conclusiones.....	12
1.7 Recomendaciones.....	12
1.8 Bibliografía .....	12
CAPÍTULO II .....	14
EVALUACIÓN DE NIVELES DE MATERIAL ORGÁNICO (Compost de cachaza) Y MATERIAL INORGÁNICO (Fertilizante químico) EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum</i> spp.) EN FINCA MORENAS FERNÁNDEZ DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.....	14
2.1 Presentación .....	15
2.2 MARCO TEÓRICO .....	16
2.2.1 Marco Conceptual.....	16
2.2.1.1 Generalidades .....	16
2.2.1.2 Clasificación taxonómica .....	17
2.2.1.3 Morfología de la caña de azúcar .....	17
a. Tallo .....	18
b. Nudo .....	19
2.2.1.4 Requerimientos edáficos de la caña de azúcar .....	21
2.2.1.5 Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar .....	22
2.2.1.6 Requerimientos climáticos .....	24
a. Temperatura.....	24
b. Requerimiento hídrico .....	25
c. Radiación .....	25
2.2.1.7 Métodos de aplicación de fertilización .....	26
a. Fertilización al voleo o superficial .....	26
b. Fertilización en banda o localizada.....	27
2.2.1.8 La materia orgánica.....	28
2.2.1.9 Papel agronómico de la materia orgánica.....	29
2.2.1.10 Enmiendas orgánicas generadas de desechos agroindustriales .....	30
2.2.1.11 Características del compostaje de cachaza .....	31

	Página
2.2.1.12 Uso agronómico de la cachaza en suelos cañeros .....	32
2.2.2 Marco Referencial.....	32
2.2.2.1 Ubicación.....	32
2.2.2.2 Suelos .....	33
2.2.2.3 Variedad de caña RB 84 5210.....	33
2.2.2.4 Antecedentes del uso de cachaza y compost de cachaza .....	34
2.2.2.5 Condiciones climáticas .....	35
2.3 Objetivos.....	37
2.3.1 Objetivo General.....	37
2.3.2 Objetivos Específicos .....	37
2.4 Hipótesis .....	37
2.5 Metodología .....	38
2.5.1 Análisis de suelos, compost de cachaza y análisis de tejido vegetal .....	38
2.5.1.1 Análisis preliminar del suelo y compost de cachaza.....	38
2.5.1.2 Características químicas del suelo.....	38
2.5.1.3 Características químicas del compost de cachaza .....	39
2.5.2 Metodología experimental.....	39
2.5.2.1 Diseño experimental.....	39
2.5.2.2 Unidad experimental.....	40
2.5.2.3 Unidad de muestreo .....	40
2.5.3 Tratamientos evaluados.....	40
2.5.3.1 Factor A (Métodos de fertilización) .....	40
2.5.3.2 Factor B (Niveles de material orgánico e inorgánico).....	41
2.5.4 Variables .....	41
2.5.4.1 Altura de tallos.....	41
2.5.4.2 Diámetro de tallos.....	42
2.5.4.3 Toneladas de caña por hectárea .....	43
2.5.4.4 Toneladas de azúcar por hectárea .....	43
2.5.4.5 Análisis de tejido vegetal .....	43
2.5.5 Manejo agronómico del experimento .....	44
2.5.5.1 Labores previas a la fertilización.....	44
2.5.5.2 Fertilización .....	44

	Página
2.5.5.3 Aplicación de las fuentes orgánicas e inorgánicas .....	44
2.5.5.4 Cosecha .....	45
2.5.6 Análisis de la información .....	45
2.5.6.1 Análisis de varianza.....	45
2.5.6.2 Modelo experimental .....	45
2.5.7.3 Prueba de medias .....	46
2.6 Resultados y discusión.....	46
2.6.1 Altura y diámetro de tallos .....	46
2.6.2 Producción de toneladas de caña por hectárea (t/ha) y toneladas de azúcar por hectárea (t/ha de azúcar). ....	50
2.6.3 Resultados de análisis foliar .....	53
2.7 Conclusiones.....	54
2.8 Recomendaciones.....	55
2.9 Bibliografía .....	55
2.10 Anexos .....	60
2.10.1 Distribución en campo de los tratamientos evaluados .....	60
2.10.2 Rendimientos en toneladas de caña por hectárea según distribución de tratamientos .....	61
CAPÍTULO III .....	63
PROYECTOS PROFESIONALES REALIZADOS .....	63
3.1 Presentación .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fotografía aérea de las instalaciones Costa Sur del Ingenio Magdalena .....	4
Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Investigación Agrícola .....	7
Figura 3. Sistema radicular de la caña de azúcar.....	19
Figura 4. Diferenciación de los tallos de caña de azúcar.....	20
Figura 5. Partes principales del tallo de la caña de azúcar.....	21
Figura 6. Tipos de nudos (A) y entrenudos (B) de los tallos de la caña de azúcar .....	22
Figura 7. Mapa de la distribución espacial de fósforo disponible de la zona cañera de Guatemala.....	24
Figura 8. Contenido de materia orgánica en los suelos de la zona cañera de Guatemala.....	34
Figura 9. Comparativo de precipitaciones y temperatura zafra 2015-2016 y zafra 2016-2017 .....	36
Figura 10. Comparativo entre las zafras 2015-2016 y 2016-2017 sobre la intensidad solar. ....	36
Figura 11. Rendimientos de toneladas de caña por hectárea.....	52
Figura 12. Rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea. ....	52

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Recursos físicos del Departamento de Investigación Agrícola.....	9
Cuadro 2. Extracción de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio por cada tonelada de caña comercial (kg/t caña) de cuatro variedades de caña de azúcar en Guatemala. ....	23
Cuadro 3. Resultado del estado nutricional del suelo.....	38
Cuadro 4. Características químicas nutricionales del compost de cachaza.....	39
Cuadro 5. Niveles asimilables de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en compost de cachaza por tonelada métrica.....	39
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos.....	42
Cuadro 7. Valores medios de las variables altura de planta y diámetro de tallo realizados a los 120 días después de la cosecha.....	47
Cuadro 8. ANDEVA, variable altura de planta.....	47
Cuadro 9. ANDEVA, variable diámetro de tallo .....	48
Cuadro 10. POSTANDEVA, variable altura de planta y diámetro de entrenudo. ....	49
Cuadro 11. Valores promedios para cada nivel evaluado del factor B.....	50
Cuadro 12. ANDEVA para toneladas de caña por hectárea.....	51
Cuadro 13. ANDEVA para toneladas de azúcar por hectárea.....	51
Cuadro 14. Media de los resultados químicos del análisis de tejido vegetal realizados a los 142 días después de la fertilización.....	53
Cuadro 15. Resultados del análisis a nivel laboratorio de la respuesta de jugo de la caña de azúcar.....	61

## RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado fue realizado en el Departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena<sup>1</sup> que se ubica en el kilómetro 99.5 carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla, en el interior de la finca Bugarvilia en el periodo de febrero a noviembre del 2016.

A través del diagnóstico ejecutado se observó que el Ingenio Magdalena divide toda su área productiva en cuatro regiones en las cuales incide el departamento de Investigación Agrícola.

Entre las funciones del departamento está realizar evaluaciones en el uso consciente y eficiente de herbicidas para el combate de malezas, evaluaciones de dosis óptimas de concentradores de azúcar o madurantes, de dosis óptimas para la inhibición de floración, frecuencias de riego, siembra de caña, cosecha de caña (manual y mecanizada) y en fertilización; dosis de nitrógeno y fósforo, fertirriego, abonos foliares y microelementos, de la utilidad de los subproductos como la vinaza, de aplicación de cachaza y compost de cachaza que son subproductos que presentan potencial para ser usados como complementos de nutrientes en zonas cercanas a la fábrica o sitio donde se almacena la cachaza generada de la filtración del jugo de la caña de azúcar.

Partiendo de la oportunidad que presentan los subproductos generados del proceso de filtración del jugo de la caña de azúcar se estableció como trabajo de investigación la evaluación de niveles de material orgánico y material inorgánico de acuerdo a dos métodos de aplicación, según las condiciones de un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, obteniendo como resultado: en los métodos de aplicación no diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas y con respecto a los niveles de material orgánico e inorgánico existió diferencia significativa en las variables de altura y diámetro de tallo.

---

<sup>1</sup> Por modificaciones administrativas a partir del mes de octubre del año 2016 desaparece el área de División de Investigación Agrícola y las funciones del Departamento de Investigación Agrícola se trasladan al área de Inteligencia Agrícola.

De igual manera dentro de las actividades diarias dentro del departamento se apoyó con el establecimiento de ensayos en campo, colección de datos y análisis de la información, y como parte de las actividades del Ejercicio Profesional Supervisado se realizaron las investigaciones: a) Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL para la maduración artificial con tres distintos coadyuvantes como mejoradores en la actividad y efectividad del producto, y b) Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la aplicación de cuatro productos madurantes tipo no herbicida (STO3, Moddus® 25 EC, Balancer® y Brixxer Plus®) en la variedad de caña CG 98-10.





## **CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA DEL INGENIO  
MAGDALENA EN LAS ÁREAS DE MALEZAS, CONCENTRADORES DE AZÚCAR E  
INHIBIDORES DE FLOR, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA.**

## 1.1 Presentación

El Ingenio Magdalena para su funcionamiento se encuentra constituido por cuatro zonas productivas de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), las cuales son la Región Central Sur, Central Norte, Oriente y Occidente dentro de estos el área de división de Investigación agrícola. El diagnóstico se realizó en la zona Central Sur, de febrero a noviembre de 2016 en el Departamento de Investigación Agrícola, que tiene por región un investigador responsable de establecer ensayos experimentales para eficientizar la producción de caña de azúcar.

El centro administrativo del Departamento de Investigación Agrícola se encuentra en las oficinas centrales llamadas 400 ubicada en la finca Bugarvilia, La Democracia, Escuintla.

El propósito principal del diagnóstico consistió en conocer la situación del departamento y las recomendaciones y tecnologías que ha aportado para mejorar la producción de caña de azúcar en el Ingenio Magdalena en las áreas de mecanización agrícola, madurantes e inhibidores de flor.

El diagnóstico se inició con la presentación del personal investigador por regiones, por parte del jefe del Departamento de Investigación Agrícola, en una reunión realizada en las oficinas centrales del Ingenio Magdalena, indicando cuáles es era la visión como departamento, las responsabilidades y obligaciones del equipo de investigación.

Por medio de una entrevista al equipo investigador agrícola en una reunión ordinaria se conoció cuáles han sido las aportaciones que el departamento ha dado a campo y la situación actual del departamento, para mejorar la producción de caña de azúcar en las áreas de malezas, concentradores de azúcar o madurantes e inhibidores de flor, que en cuanto a una de las más relevantes recomendaciones es la propuesta de dosis baja de glifosato a una dosis de 0.8 l/ha., y el uso del producto Ethephon para la inhibición de floración.

## 1.2 Marco Referencial

El Ingenio Magdalena se inicia en la década de los ochentas en la finca Bugarvilia (Lugar donde se ubica actualmente). Anteriormente, el ingenio estaba instalado en la finca Magdalena, del cual se deriva su nombre, ubicada en la finca El Rodeo, Escuintla. Inicialmente dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor (IMSA, 2015).

El Ingenio Magdalena actualmente cuenta con un aproximado de 50,000 hectáreas bajo administración para producción de azúcar, alcohol y energía eléctrica. Se encuentra ubicado en el kilómetro 99.5 carretera a Sipacate, Escuintla en el interior de la finca Bugarvilia, en las coordenadas geográficas 14°7' N Latitud y 90°56' O Longitud (IMSA, 2015).

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Guatemala, realizado por De la Cruz basado en el sistema de Holdridge (1976), La finca Bugarvilia se ubica en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical cálido (bmh-S), que se caracteriza por presentar una precipitación anual promedio de 1696 milímetros, con una temperatura entre 15 y 38 grados Celsius (ICC, 2016).

El uso de técnicas eficaces representa un efecto positivo en la producción de mejores servicios. El control de malezas, uso adecuado de madurantes e inhibidores de flor se dicen son factores que juegan un papel importante para alcanzar altos rendimientos de caña de azúcar, todo ello puede llevarse a cabo con la buena intervención del equipo de trabajo investigador y administradores de fincas de las diferentes regiones de producción identificando problemáticas y a la vez contando con todas las herramientas necesarias y conocimientos amplios sobre los temas de interés (Espinoza, 2014).

En la Figura 1 se muestran las instalaciones administrativas y de fábrica del Ingenio Magdalena vista desde el aire.



Fuente: Departamento de Comunicación Magdalena.

Figura 1. Fotografía aérea de las instalaciones Costa Sur del Ingenio Magdalena (2017).

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 General

- Conocer la situación del Departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena.

#### 1.3.2 Específicos

- Describir la estructura y funciones de los puestos del área de división agrícola.
- Identificar los aportes y recomendaciones del Departamento de Investigación Agrícola al cultivo de la caña de azúcar.

## **1.4 Metodología y recursos**

### **1.4.1 Etapa de recolección de información primaria**

Se realizó la inducción por parte del jefe del Departamento de Investigación Agrícola proporcionando las políticas de la institución las metas que se tienen para ser un ente sobresaliente en el área de la agroindustria. Se mencionó sobre la estructuración de la institución y dónde se localiza el departamento.

Se indicó sobre los trabajos realizados en las áreas de malezas, madurantes e inhibidores de flor y los procedimientos para establecer experimentos en campo.

#### **a. Observación de campo**

Se realizaron visitas a los ensayos y participaciones en conferencias sobre las tecnologías y recomendaciones en control de malezas, madurantes e inhibidores de floración en las fincas en donde se encontraban establecidas y en la presentación de resultados por los investigadores.

#### **b. Entrevista a investigadores**

En reunión con el jefe del departamento juntamente con los investigadores de cada región se obtuvo información sobre la situación en la cual se encuentra el Departamento de Investigación Agrícola en las áreas de malezas, madurantes e inhibidores de floración tomando, así como base ello para determinar las debilidades y dar las posibles soluciones.

### **1.4.2 Identificación de problemas**

El método para la identificación de los problemas fue participando en las actividades de campo juntamente con los colaboradores del área, observando inconvenientes en el establecimiento, manejo de experimentos y finalmente en la discusión de los resultados obtenidos de los experimentos realizados.

### **1.4.3 Recursos utilizados**

La obtención de información en oficinas y campo no puede ser dada sino se cuenta con herramientas útiles para ello, en este caso fue necesario recursos físicos como: vehículos provisto por el ingenio magdalena, proyectores, computadora, impresora, y especialmente el recurso humano; ente principal de la información.

## **1.5 Resultados**

### **1.5.1 Departamento de Investigación Agrícola**

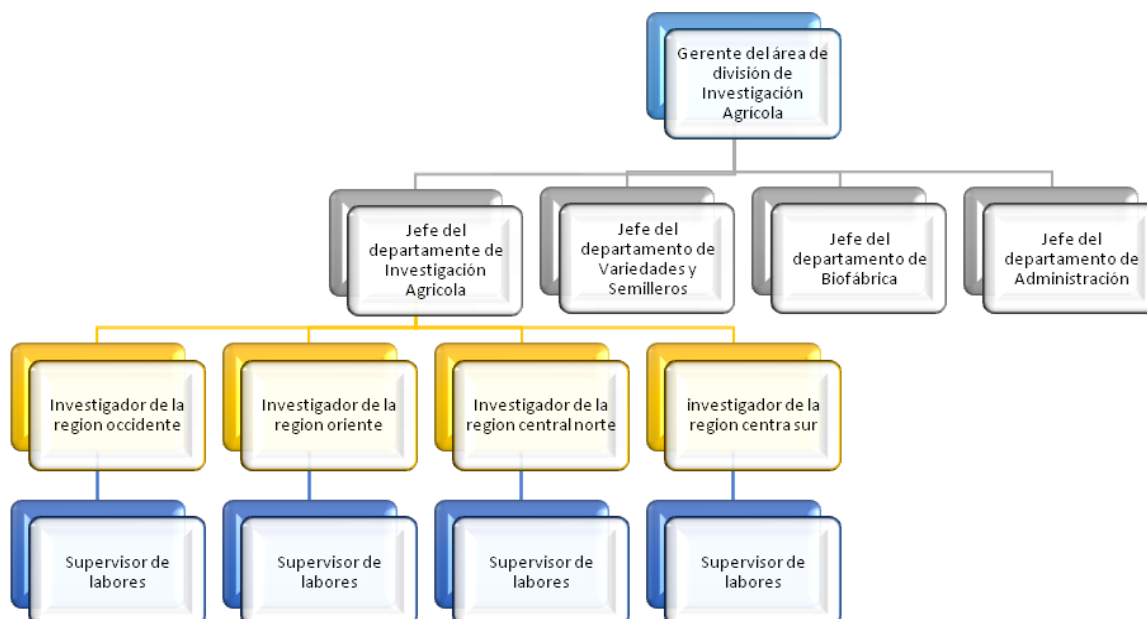
Es el departamento del área de división de Investigación Agrícola encargado de proporcionar recomendaciones y tecnologías con el propósito de mejorar la productividad y eficiencia de las actividades de campo y reducir efectos que originen problemas en el área agrícola, realizando investigaciones en las áreas de: variedades de caña, densidades de siembra, fertilización, plagas, riegos, control de malezas, madurantes, inhibidores de flor, entre otros, que se emplean en el manejo del cultivo de la caña de azúcar. La visión de departamento es producir con rentabilidad un cultivo de caña homogéneo en su potencial sobre condiciones heterogéneas.

### 1.5.2 Deberes y actividades del Departamento de Investigación Agrícola

- ✓ Conocer la problemática de las áreas de producción.
- ✓ Elaboración de protocolos de investigaciones.
- ✓ Reconocer las áreas en donde establecer los experimentos.
- ✓ Delimitaciones de las áreas a utilizar como campos de investigación.
- ✓ Establecimiento de experimentos.
- ✓ Manejo de los experimentos durante su desarrollo.
- ✓ Análisis de datos.
- ✓ Presentación de resultados.
- ✓ Generación de nuevas técnicas y recomendaciones a campo.

### 1.5.3 Estructura organizacional del Departamento de Investigación Agrícola.

En la figura 2 se presenta la estructura organizacional del área de división de investigación agrícola.



Fuente: Gerente del área de Investigación

Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Investigación Agrícola

#### **1.5.4 Funciones de los principales cargos en el Departamento de Investigación Agrícola**

##### **1.5.4.1 Gerente del área de División de Investigación Agrícola**

Encargado de verificar que todas las labores programadas por el Departamento de Investigación y Agrícola se realicen eficientemente y monitorear que los jefes de departamento realicen las investigaciones de acuerdo a los protocolos aprobados con la finalidad de obtener resultados que reflejen soluciones en las problemáticas de los distintos procesos agrícolas del cultivo de la caña de azúcar.

##### **1.5.4.2 Jefe Departamento de Investigación Agrícola**

Encargado de dirigir a los investigadores de cada región de investigación, monitorea los ensayos que realizan cada uno de los investigadores y discuten conjuntamente los resultados obtenidos en sus diferentes zonas con la finalidad de recomendar prácticas agrícolas que ayuden a aumentar la productividad de la caña de azúcar.

##### **1.5.4.3 Investigador de región**

Es el encargado de ejecutar los protocolos de investigación, y velar por llevar el control de cada uno de ellos durante el ciclo del cultivo y al final presentar los resultados de los distintos ensayos establecidos por él y su equipo de trabajo.

##### **1.5.4.4 Supervisor de labores**

Persona encargada de verificar que los trabajos en campo se realicen según las indicaciones dadas por el investigador de zona, también tiene la función de llenar planillas de los trabajadores como ayudar a controlar los diferentes ensayos establecidos junto con el investigador.



### 1.5.5 Recursos físicos

En el Cuadro 1 se observan los recursos físicos con los que cuenta directa e indirectamente el equipo de investigación agrícola para llevar a cabo sus actividades mencionadas.

**Cuadro 1. Recursos físicos del Departamento de Investigación Agrícola**

Descripción	Cantidad
Computadoras	6
Vehículos Pick-Up 4WD	6
Motocicletas	1
Cadenas (para levante de parcelas de ensayo en campo con resistencia de 3 t)	60
Balanzas electrónicas	1
Equipo de aspersión motorizada	1
Sensores de humedad de suelo	2
Teléfonos celulares	6
Cintas métricas	6
Bodega de suministros	1

### **1.5.5 Recomendaciones por parte del departamento en malezas, madurantes e inhibidores de flor**

#### **1.5.5.1 Malezas**

La lucha constante de sobrevivencia se da por naturaleza de parte de cada ser vivo en el planeta, así es el caso de las plantas que a pesar de los cambios climáticos, aplicaciones de agroquímicos, fertilizantes acidificantes, etc., se ven en la necesidad de hacer cambios en su metabolismo tornándose cada vez más tolerantes a aplicaciones de productos químicos, por lo que a raíz de ellos el combate contra las malezas es más intenso a medida estas aumentan su resistencia a productos se necesita de nuevas técnicas agronómicas para combatirlas con el fin tener campos de cultivos libres de ellas. Entre estas, el utilizar productos en diferentes condiciones edafoclimáticas o en base a zonas agroecológicas sumamente importante para alcanzar un buen rendimiento de los campos del cultivo.

El Ingenio Magdalena según lo observado en el Departamento de Investigación Agrícola continúa en el desarrollo de nuevas prácticas para combatir las malezas de mayor importancia como el coyolío (*Cyperus rotundus*), la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*), el zacatón (*Panicum máximum*), la malanguilla (*Araceae* sp.), el culantrío (*Mollugo verticillata* L.), el botoncillo (*Richardia scabra* L.), la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), etc.

#### **1.5.5.2 Madurantes**

El Departamento de Investigación Agrícola a lo largo de 10 años ha realizado investigaciones en madurantes o concentradores de azúcar con el propósito de sustituir los madurantes tipo herbicida y entre estos está el uso del madurante Boro-molibdeno (Brixser Plus) ante el concentrador de azúcar tipo no herbicida Moddus (trinexapac etil).

Podría mencionarse que para una optimización de costos este producto puede ser beneficioso ya que suele realizar de mejor manera el trabajo como concentrador de azúcar y evita en baja escala la fitotoxicidad en la planta de la caña de azúcar.

La dosis baja de Glifosato (n-fosfonometilglicia) a 0.8 l/ha., ha tenido la tendencia a ser la mejor opción para obtener niveles de azúcar igual a las aplicaciones comerciales en campo (1.5 l/ha), esto es aún un enigma ya que para que se observen resultados certeros se deben de realizar dichos estudios en áreas mayor tamaño y en las diferentes características como tipo de suelo, variedad, estrato altitudinal, riego y condiciones de del tiempo.

#### **1.5.5.3 Inhibidores de flor**

Las aplicaciones se realizan en agosto, mes en donde inicia el período de la inducción floral. Se ha observado que el aplicar inhibidores de flor reduce el tonelaje de caña de azúcar cuando las condiciones climáticas son diferentes en cuanto a la radiación solar. Debido a esto se debe tener un control bien ajustado tomando en cuenta factores climáticos en base a un historial para saber si es necesario aplicar inhibidores o no según las condiciones climáticas y en específico la intensidad de la radiación solar y la temperatura ya que se ha observado según CENGICAÑA que cuando la intensidad de la radiación solar es menor al 40% de cobertura durante tres días continuos o más, la inducción floral es más acelerada por lo que es conveniente aplicar inhibidores de flor, el producto utilizado para esta práctica es Ethephon 48 SL el cual es un regulador de crecimiento.

## 1.6 Conclusiones

- El Departamento de Investigación Agrícola está dentro de la División de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena y tiene por objetivo encontrar nuevas prácticas de manejo de cultivo y generar nuevas tecnologías con el fin de producir más sustentable y rentable la caña de azúcar.
- Puede observarse que la estructura del área donde se encuentra el Departamento de Investigación Agrícola cuenta con los puestos acordes para generación de la información que se necesita para alcanzar los resultados esperados en base a la problemática en campo de las diversas actividades agrícolas.
- El Departamento de Investigación Agrícola entre sus principales aportes está la propuesta de dosis bajas de Glifosato (0.8 lt/ha) y el uso para inhibición de floración el producto Ethephon 48 SL el cual es un regulador de crecimiento

## 1.7 Recomendaciones

- Continuar con las investigaciones en las prácticas agrícolas de malezas, madurantes o concentradores de azúcar e inhibidores de floración en base a las zonas agroecológicas del país.

## 1.8 Bibliografía

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. (eds.). Guatemala, Artemis Edinter. p. 260-282.
2. De la Cruz, R. (1976). Clasificación de Zona de Vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala.

3. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2016. Datos meteorológicos de la estación Bugarvilia, La Democracia, Escuintla, Guatemala. Guatemala (Excel) (en línea). Guatemala. Consultado 18 mar. 2016. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>
4. IMSA (Ingenio Magdalena, Guatemala). 2010. Historia; 2010 (en línea). Guatemala. Consultado 12 mar. 2016. Disponible en <https://www.imsa.com.gt/historia.html#2010>



## **CAPÍTULO II**

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE MATERIAL ORGÁNICO (Compost de cachaza) Y MATERIAL INORGÁNICO (Fertilizante químico) EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN FINCA MORENAS FERNÁNDEZ DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

## 2.1 Presentación

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con el tiempo ha tomado importancia en el ámbito socioeconómico del país ya que actualmente representa para Guatemala en el área agrícola el segundo producto en generación de divisas según el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar CENGICAÑA (2014). Esta misma institución indica que la agroindustria azucarera de Guatemala constantemente desde los años sesenta se ha posicionado como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo a nivel latinoamericano y el tercero en productividad “toneladas métricas de azúcar por hectárea” (CENGICAÑA, 2014).

Actualmente, por los precios bajos del azúcar en el mercado internacional la agroindustria azucarera prioriza la necesidad de producir azúcar a un menor costo en comparación de años anteriores; exigiendo cada vez más una excelente gestión en las actividades agrícolas importantes como la fertilización, manejo integrado de plagas, riego, maduración, cosecha, etc. Dentro de esto igualmente el mejor aprovechamiento de los residuos agroindustriales: la vinaza, el bagazo, la cachaza, etc., subproductos ricos en nutrientes.

Debido a los precios bajos del azúcar que se han registrado en los últimos años en el mercado internacional, el alza de los costos en los insumos como la maquinaria agrícola, los fertilizantes, plaguicidas, riego y la falta de conocimientos en utilizar diferentes tipos de manejo de cultivo, ejercen la necesidad de emplear alternativas que ayuden en optimizar insumos reduciendo costos de producción. Uno de los recursos potencialmente disponibles son los residuos agroindustriales de la caña como el bagazo, la cachaza, la vinaza y la composta de cachaza entre otros, los cuales son ricos en nutrimentos como potasio, fósforo, nitrógeno y microelementos pudiendo ser utilizados como complemento de las fuentes inorgánicas que aporta nutrientes al cultivo de la caña. Por otro lado, la fertilización de fuentes inorgánicas en bandas ha representado para el cultivo de la caña de azúcar una práctica fundamental para obtener los rendimientos esperados, pero al combinarse con fuentes orgánicas e inorgánicas no se tienen mayores evidencias de cómo incurrirían en su comportamiento en la dinámica de los elementos.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de los métodos de aplicación de las fuentes orgánicas e inorgánicas en caña de azúcar en un suelo Entisol en la finca Morenas Fernández ubicada en la zona litoral del municipio de La Gomera, Escuintla durante el año 2016-2017 en la variedad de caña RB-845410 presentando una precipitación pluvial atípica en la distribución lloviendo más en los meses de mayo a septiembre, se evaluaron dos métodos de fertilización al suelo (aplicación en banda y aplicación superficial) y seis fuentes orgánicas e inorgánicas incluyendo un testigo absoluto y testigo relativo que fue la dosis comercial de la finca. Las variables evaluadas fueron la altura de planta, el diámetro de tallo y los rendimientos (t/ha de caña y t/ha de azúcar), se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela grande los métodos de fertilización y las parcelas pequeñas los niveles (fertilizante químico y compost de cachaza) de las fuentes orgánicas e inorgánicas. Como resultado de la investigación se concluyó que en cuanto a los métodos de fertilización no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables de estudio y con respecto a los niveles de material orgánico e inorgánico existió diferencia significativa en las variables altura y diámetro de tallo hasta los 120 días después de cosecha.

Los niveles que presentaron los valores más altos fueron las combinaciones 120-20-60 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O kg/ha y 0.4 t/ha de compost de cachaza y la combinación 120-20-60 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O kg/ha y 0.8 t/ha de compost de cachaza, los valores más bajos en cuanto a producción fueron para el testigo absoluto y los niveles bajos de compost de cachaza.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Marco Conceptual**

#### **2.2.1.1 Generalidades**

La planta de la caña de azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es



sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además, representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico (Alexander, 1985).

### 2.2.1.2 Clasificación taxonómica

Según Innvista, (2000) la clasificación taxonómica de la caña de azúcar es la siguiente:

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Angiospermae
Sub-clase:	Monocotyledoneae
Súper Orden:	Commelinidae
Orden:	Commelinales
Familia:	Poaceae
Género:	<i>Saccharum</i>
Especie:	<i>officinarum</i> L.

Se usa la abreviación spp. debido a la diversidad de especies generadas por los cruces entre distintas variedades de caña modificando sus características genéticas.

### 2.2.1.3 Morfología de la caña de azúcar

#### a. Raíz

La función principal del sistema radicular (Figura 3) es la de absorber agua y sales minerales, proporcionar anclaje y almacenar materiales de reserva, está formado por dos tipos de raíces:

Raíces de la estaca original o primordiales: Son aquellas que se originan a partir de la banda de primordios radicales, localizada en el anillo de crecimiento del esqueje o estaca original que se siembra, son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento que aparecen las raíces en los nuevos brotes, lo cual ocurren entre los 2 y 3 meses de edad (Godoy, 1997).

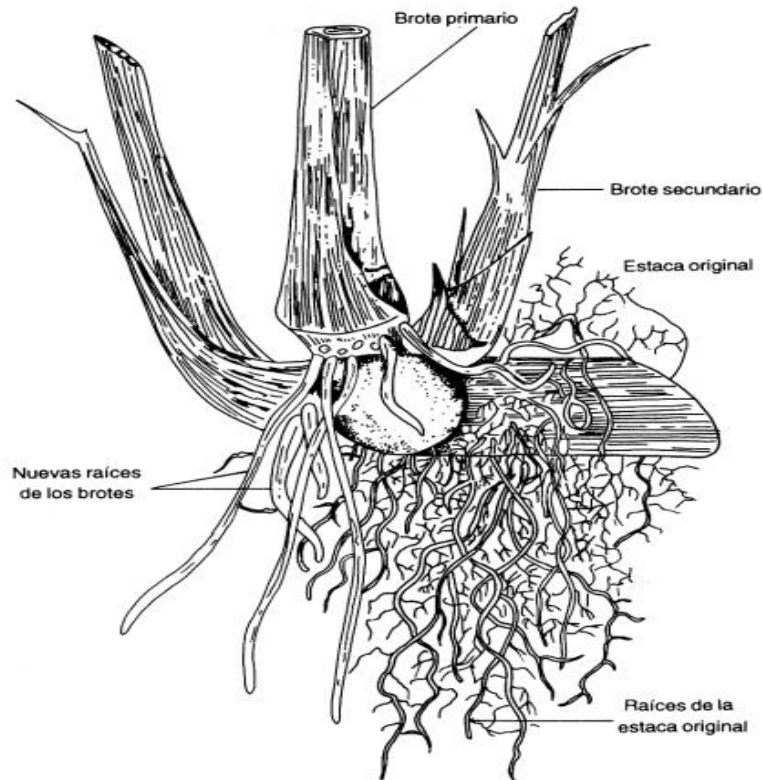
Raíces permanentes: Son aquellas que brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta (Godoy, 1997).

La cantidad, longitud y edad de las raíces permanentes dependen de la variedad, tipo de suelo y humedad (Blackburn, 1991).

#### **a. Tallo**

Es el órgano de mayor importancia (desde el punto de vista económico), debido a que en él se almacenan carbohidratos producto de la fotosíntesis de la planta. Posteriormente, por medio del proceso industrial se obtienen la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo y cachaza (Godoy, 1997).

La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y yemas de los nuevos brotes subterráneos. El número de tallos, diámetro, color y hábito de crecimiento del tallo dependen principalmente de las variedades (Godoy, 1997). El tamaño o longitud de los tallos dependen, en gran parte de las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y manejo que se le brinde a la variedad.



Fuente: Rincones, 1994.

Figura 3. Sistema radicular de la caña de azúcar

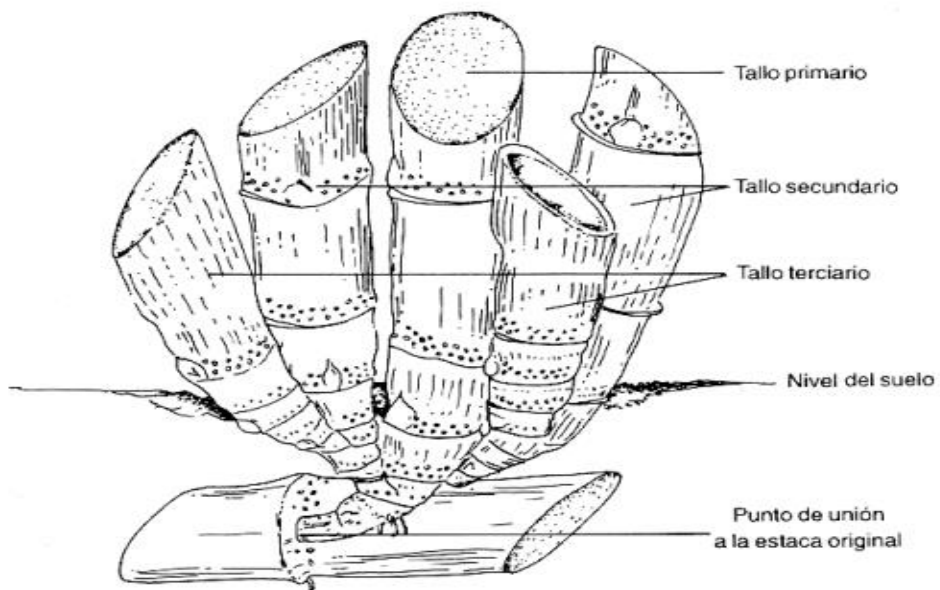
El tallo se denomina primario, secundario, terciario, etc., si se origina de las yemas del material vegetativo original, del tallo primario, o de los tallos secundarios, respectivamente. Los tallos de la caña de azúcar están formados por nudos en los que se desarrollan las yemas y hojas, estos nudos se encuentran separados por entrenudos (Orozco *et al.* 2004), (Figura 4).

#### **b. Nudo**

Es la porción dura y más fibrosa del tallo de la caña que separa a dos entrenudos vecinos. El nudo está formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, el nudo propiamente dicho, la yema y el anillo ceroso (Orozco *et al.* 2004), (Figura 5).

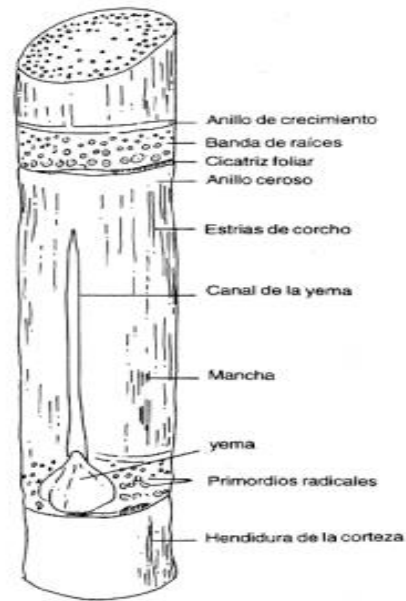
Está formado por las siguientes partes: (Orozco *et al.* 2004).

- Cicatriz foliar
- Zona radical
- Anillo de crecimiento
- Banda cerosa
- Yema



Fuente. Rincones, 1994.

Figura 4. Diferenciación de los tallos de caña de azúcar

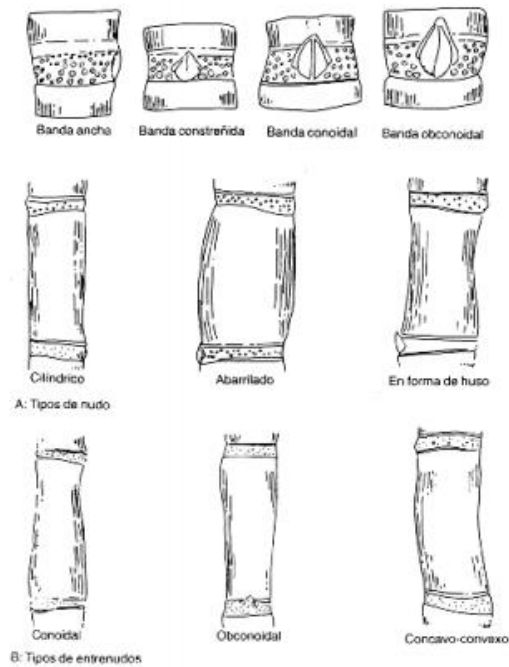


Fuente: Rincones, 1994.

Figura 5. Partes principales del tallo de la caña de azúcar.

#### 2.2.1.4 Requerimientos edáficos de la caña de azúcar

La caña de azúcar crece bien en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los francos o franco-arcillosos, bien drenados y profundos. El pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 (ligeramente ácido), aunque tolera suelos ácidos y alcalinos. Con un pH próximo o menor de 4.5, limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta (Rivera, Moreno, Herrera, Romero, 2016).



Fuente: Rincones, 1994.

Figura 6. Tipos de nudos (A) y entrenudos (B) de los tallos de la caña de azúcar

#### 2.2.1.5 Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar

Las plantas como la caña de azúcar requieren para su crecimiento y desarrollo 16 elementos esenciales. Estos nutrientes son carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), boro, (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Adicionalmente debe incluirse el silicio (Si), aunque no se le considera esencial es importante y es un elemento benéfico en la nutrición del cultivo de la caña de azúcar. El Carbono, Hidrógeno y Oxígeno provienen del agua y del aire, y son los elementos que constituyen la mayor parte del peso de las plantas. Los otros 13 elementos minerales provienen del suelo o son adicionados como fertilizantes (Pérez, 2012).

El requerimiento de nutrientes para la caña de azúcar difiere según la variedad, el suelo, condiciones climáticas y manejo del cultivo (Pérez, 2012).

En el cuadro 2 se presentan las extracciones totales de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio) de cuatro variedades de caña de azúcar bajo condiciones de riego, en la zona central de la región cañera de Guatemala (Pérez, 2012). En donde se indica que en promedio se necesitan 100 kg/ha de nitrógeno, 45 kg/ha de fósforo y 280 kg/ha de potasio para obtener un rendimiento de 100 t/ha de caña aproximadamente (Pérez, 2012).

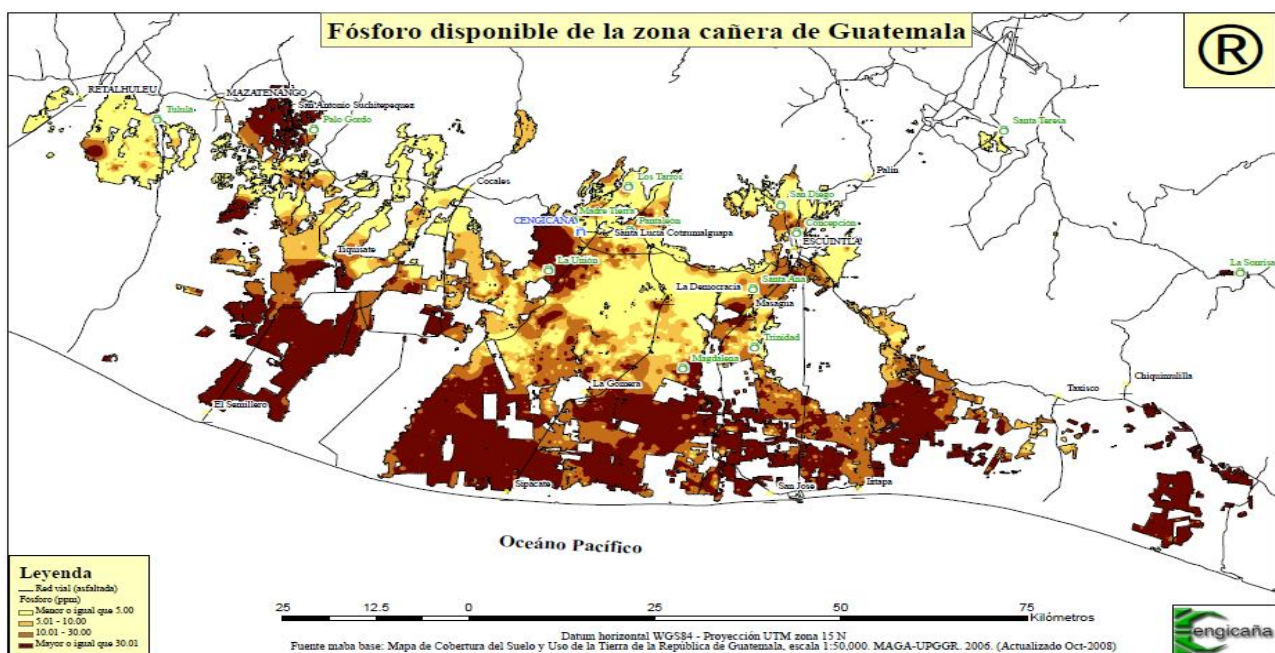
**Cuadro 2. Extracción de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio por cada tonelada de caña comercial (kg/t caña) de cuatro variedades de caña de azúcar en Guatemala.**

Nutriente	Variedad			
	CP72-2086	PGM89-968	SP79-2233	CG96-59
<b>Nitrógeno (N)</b>	1.0	0.92	0.88	1.19
<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	0.40	0.45	0.45	0.48
<b>Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>	2.65	2.81	3.1	2.87
<b>Calcio (Ca)</b>	0.6	0.51	0.64	0.65
<b>Magnesio (Mg)</b>	0.27	0.19	0.33	0.21

Fuente. Pérez, 2014.

El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los elementos que más frecuentemente se encuentran en cantidades deficientes en la mayoría de los suelos y regularmente son los que se encuentran en las fórmulas que se comercializan en mezclas llamadas físicas o químicas, el resto de los nutrientes se encuentran asociados a otros factores que los limitan su disponibilidad en el suelo como el pH, textura, sequía, entre otros (Pérez, 2012).

En la figura 7, se muestra el mapa con la distribución de fósforo disponible en la zona cañera del país, con bajas cantidades en la zona litoral haciendo énfasis de la demanda nutricional de este elemento en la planta, refiriendo sitios convenientes para encontrar solución a la problemática de deficiencia de fósforo en suelos de esta zona.



Fuente: CENGICAÑA, 2014.

Figura 7. Mapa de la distribución espacial de fósforo disponible de la zona cañera de Guatemala.

### 2.2.1.6 Requerimientos climáticos

#### a. Temperatura

La caña de azúcar requiere altas temperaturas durante el período de crecimiento y bajas en el período de maduración. Mientras más grande sea la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas durante la maduración, mayores serán las posibilidades de obtener jugos de alta pureza y un mayor rendimiento de azúcar. Las temperaturas óptimas para diferentes etapas del desarrollo de este cultivo son: para la germinación entre 32 y 38 °C, para el macollamiento 32 °C y para el crecimiento 27 °C (Subiros, 1995).



## **b. Requerimiento hídrico**

El suministro de agua es necesario durante el periodo de crecimiento. En promedio, se requiere de 1,200 a 1,500 mm anuales, distribuidos durante el periodo vegetativo. La demanda aumenta en relación con el crecimiento de la planta, debido al incremento de la transpiración (Subiros, 1995).

Para la zona cañera de Guatemala las respuestas de la caña a la aplicación del agua son más evidentes en áreas entre 0 y 200 m s.n.m. Se han encontrado respuestas variables, con incrementos respecto a no regar entre 10 a 70 t/ha de caña; los incrementos más bajos se observan en suelos franco-limosos en donde hay aporte capilar y las mayores respuestas se observan en suelos con predominio de arena (francos arenosos). En el estrato entre 200 y 300 m s.n.m. las respuestas encontradas fluctúan entre 20 y 30 t/ha de caña de azúcar (20 TCH y 30 TCH). Mientras que en el estrato arriba de 300 m s.n.m., alcanza entre 10 y 20 t/ha de caña de azúcar (10 TCH y 20 TCH), la respuesta es menor debido, principalmente, al menor déficit hídrico (Castro, 2014).

## **c. Radiación**

La caña de azúcar es una planta que necesita de energía solar. Crece bien en áreas que reciben energía solar de 18 a 36 MJ/m<sup>2</sup>/día. Por ser una planta C4 la caña de azúcar es capaz de altas tasas fotosintéticas y este proceso tiene un alto valor de saturación de luz. A un promedio mayor de 7 horas o cantidades mayores de 20 MJ/m<sup>2</sup>/día en julio y agosto principalmente las producciones son mejores (Castro, 2010).

Las alertas de baja radiación solar de julio y agosto pueden ocurrir con altas probabilidades en los años cuando incide el fenómeno “La Niña”, en donde se esperan producciones bajas debido a la alta nubosidad y otros factores desfavorables como la temperatura, lluvias, etc., (Castro, 2010).

### 2.2.1.7 Métodos de aplicación de fertilización

#### a. Fertilización al voleo o superficial

El esparcimiento al voleo del fertilizante (es decir aplicándolo a la superficie de un campo) es usado principalmente en cultivos densos no sembrados en filas o en filas densas (pequeños granos) y en prados. Es también usado cuando los fertilizantes deberían ser incorporados en el suelo para que la aplicación sea efectiva (fertilizantes fosfatados), o para evitar las pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico), (FAO, 2002).

La incorporación a través de la labranza o arada es también recomendada para aumentar el nivel de fertilidad de la capa arada. Si el fertilizante es esparcido al voleo a mano o con un equipo de distribución de fertilizante, el esparcimiento debería ser tan uniforme como sea posible (FAO, 2002).

En un estudio sobre métodos de fertilización con fósforo y potasio para el maíz (*Zea mays*) y soja (*Glycine max*) en siembra directa; Mallarino (1998) menciona que fertilizando al voleo varios meses antes de la siembra, para suelos de Iowa (EEUU), la aplicación es tan eficiente como la fertilización localizada para maíz, esto es parcialmente debido a que el fósforo se localiza en los primeros centímetros del suelo. También estos autores autor indican que a medida que el fósforo del suelo aumenta, las diferencias entre aplicarlo al voleo o en bandas disminuyen o son nulas (Mallarino ,1997; Darwich, 1998).

Un estudio en trigo (*Triticum* sp.) se menciona que no se encontraron diferencias entre aplicaciones al voleo en lotes con niveles bajos de fósforo y en sistemas de siembra directa o fertilización localizada (Bordoli, 2004). El éxito de la aplicación en superficie puede ser atribuida a un incremento de la actividad de las raíces en los primeros centímetros de suelo por una mayor fertilidad y humedad superficial en sistemas sin

remoción de suelos, junto a precipitaciones adecuadas durante la estación de crecimiento de los cultivos que permitirían el ingreso del fertilizante en el suelo (Belcher y Reglan, 1972; Bordoli y Mallarino, 1998).

#### **b. Fertilización en banda o localizada**

Cuando la aplicación del fertilizante es localizada (poniendo el fertilizante sólo en lugares seleccionados en el campo), el fertilizante es concentrado en partes específicas del suelo durante la siembra, que puede ser en bandas o en una franja debajo de la superficie del suelo o al lado de y debajo de la semilla. Es preferible usarlo para cultivos en hileras, que tienen relativamente grandes espacios entre las filas (maíz, algodón y caña de azúcar); o en suelos con una tendencia a la fijación de fósforo y potasio (FAO, 2002).

El método de fertilización localizado o en banda provee muchos más beneficios en cuanto al mayor aprovechamiento de los nutrientes que la planta necesita en comparación a la fertilización al voleo o superficial. La eficiencia de los fertilizantes es mayor en cierta medida debido a que no están expuestos a perderse por lixiviación, nitrificación o volatilización y su disponibilidad por zona o unidad de suelo son mayores por lo que existe un mayor anclaje de la planta debido a su mayor cantidad de raíces concentrada en una misma unidad de suelo lo que a su vez conlleva a una mejor producción, siempre y cuando se realice a la perfección cada uno de los manejos agronómicos que una plantación necesite para obtener sus mejores rendimientos esperados (FAO, 2002).

Sin embargo, aún no está claramente establecido si la aplicación de residuos orgánicos en forma superficial es más eficiente en mejorar las propiedades físicas e hidráulicas de los horizontes superficiales, que la mezcla y enterramiento de estos residuos debido a que muchas veces por sus características químicas puede causar cierto desequilibrio de los nutrientes en la solución del suelo (FAO, 2002).

### **2.2.1.8 La materia orgánica**

La materia orgánica del suelo es una fracción de reconocida importancia desde el punto de vista agronómico y las propiedades que una buena provisión de materia orgánica confiere al suelo son ampliamente conocidas. Esta fracción es fuente casi exclusivo del nitrógeno nativo y tiene importancia radical en la provisión de otros nutrientes, tales como el fósforo y azufre (Bauer & Black, 1994).

La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas creando un cambio en la dinámica de los elementos, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso. Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, se menciona que aumenta la capacidad de cambio del suelo o capacidad de intercambio catiónico, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad compresora del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas (Julca, 2006).

En cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico (Julca, 2006).

La materia orgánica en el suelo facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas. Por ejemplo, se sabe que la capacidad del suelo para absorber compuestos químicos como clorofenoles o cloroanilinas aumenta con el contenido en materia orgánica. La aplicación de enmiendas orgánicas también aumenta la degradación de fumigantes como el 1,3-D, bromuro de metilo y el isotiocianato metilo y disminuye la volatilización de estos tres pesticidas, cuando la enmienda se aplica en los primeros 5 cm del suelo (Julca, 2006).

Los pesticidas con materiales catiónicos son firmemente adsorbidos por los coloides del suelo; en cambio, con los pesticidas ácidos hay muy poca adsorción, por lo tanto, se concentran en la solución suelo y en las fases gaseosas (Julca, 2006).

#### **2.2.1.9 Papel agronómico de la materia orgánica**

Los efectos agronómicos de la transformación de la materia orgánica en el sistema suelo están relacionados preferentemente con la velocidad con que ésta evoluciona y con el equilibrio alcanzado entre los procesos de formación y degradación (humificación y mineralización) de la misma. Ésta dinámica de la fracción orgánica se va a traducir en una mayor o menor disponibilidad de nutrientes y sustancias bioactivas para cubrir las necesidades del vegetal, en una proporción mayor o menor de fracción humificada y en un efecto favorable o desfavorable sobre todos los parámetros ligados con la fertilidad y conservación de los suelos de cultivo (Labrador y Cabanillas, 2000).

Para mejorar las propiedades físicas del horizonte superficial expuesto y recuperar las funciones hidrológicas de suelos bajos en materia orgánica, es necesario el aporte de grandes cantidades de materia orgánica. Esto significa recrear el horizonte rico en materia orgánica en la capa superior del suelo (Rueda y Paz, 1998).

Se menciona que mejorar y conservar las condiciones físicas, químicas y biológicas de un suelo, constituye la base de su productividad agrícola, la cual depende en gran parte del contenido de materia orgánica (Rueda y Paz, 1998).

## **2.2.1.10 Enmiendas orgánicas generadas de desechos agroindustriales**

### **2.2.1.10.1 Subproductos agroindustriales azucareros utilizados como enmiendas orgánica.**

#### **a. La vinaza**

La Vinaza es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituido principalmente por agua, materia orgánica y minerales, entre los cuales el potasio es el más abundante. La vinaza es utilizada en los campos del cultivo con resultados positivos en el aumento de la productividad, economía en el uso de los fertilizantes y mejoramiento de los suelos en general (Pérez, 2014).

En Guatemala se ha observado que las aplicaciones de vinaza incrementan la producción de caña en distintos suelos y aportan las necesidades de potasio del cultivo y parte de las necesidades de nitrógeno (Pérez, 2014).

#### **b. La Cachaza**

La Cachaza es un residuo en forma de sedimento que resulta de la clarificación del jugo de caña en la fabricación del azúcar. Por cada tonelada de caña molida en la fábrica se producen alrededor de 34 kg de cachaza. De tal manera que en la última zafra en Guatemala se produjeron 680,000 t de cachaza, con una molienda de 20,000,000 toneladas de caña (CENGICANÁ, 2012).

La cachaza tiene altos contenidos de carbono orgánico, fósforo, calcio y en menores cantidades nitrógeno, de tal manera que es un material utilizado en la fertilización y mejoramiento de los suelos agrícolas (Pérez, 2003).

El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir el volumen de aplicación, debido a la deshidratación de ésta en los campos de almacenamiento

facilitando su transporte y aplicación. Por otra parte, favorece el proceso de mineralización, lo que a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrimentos para el cultivo (Pérez, 2003).

#### **2.2.1.11 Características del compostaje de cachaza**

Este subproducto que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido, y con posteridad se somete a filtración, durante el proceso de clarificación del jugo de caña en los ingenios azucareros. La cachaza es un material café oscuro a negro. Consiste principalmente en una mezcla de fibra de caña, sacarosa, cera, fosfatos de calcio, azufre, arena y suelo. La mayor parte de estos componentes procede de la molienda de la caña (Pérez, 2012).

Los fosfatos de calcio y el azufre se agregan durante el proceso de neutralización y clarificación del jugo de caña (Peñaranda, 2008).

Como abono orgánico el compost de cachaza incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por la producción de humus; aumenta el contenido o la capacidad de retención de humedad y durante su descomposición se produce gran cantidad de  $\text{CO}_2$ , que al transformarse en  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , junto con otros ácidos de origen orgánico, disolverán los nutrimentos insolubles en el suelo de pH alcalino (Basanta, 2007).

Ovidio P. (2002) en su artículo uso y manejo agronómico de la cachaza en Guatemala menciona que Moberly y Meyer (1978) y Wood (1981) determinaron que la disponibilidad de nitrógeno en la cachaza y por ende en el compost de cachaza está influenciada por la relación carbono/nitrógeno del material específicamente por factores de suelo que definen el potencial de mineralización de este.

Estos investigadores encontraron que la disponibilidad de nitrógeno de la cachaza varió de 20 a 50 %. Encontrando valores altos en suelos fértiles con altos contenidos de materia

orgánica. Con relación a fósforo y potasio se reportan disponibilidades de 60 % a partir de la cachaza. (Muñoz, 2015).

#### **2.2.1.12 Uso agronómico de la cachaza en suelos cañeros**

Las incorporaciones de material orgánico a suelos con bajo porcentaje de materia orgánica mejoran significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de cualquier suelo bajo en nutrición. En la caña de azúcar, el uso agronómico que se le da a la cachaza generada de la clarificación de los jugos oscilan en un subproducto mejorador de las propiedades mencionadas, el inconveniente está en dos factores; uno es que para satisfacer las necesidades del cultivo desde el punto de vista de la fertilización el cultivo de la caña de azúcar necesita por lo menos 30 toneladas de cachaza (Pérez, 2003) y lo otro es el costo de transporte por tonelada de compost de cachaza hasta una cierta distancia.

Se ha calculado que un 60 % del total de fósforo que se obtiene de la cachaza compostada puede ser liberado el primer año. El fósforo se encuentra en la cachaza en forma de fosfolípidos, nucleoproteínas y fosfatos de calcio. Este subproducto se considera como un buen sustituto de fertilizantes fosforados para algunos suelos que presentan esta deficiencia (Dávila, Torres y Echeverri, 1995).

### **2.2.2 Marco Referencial**

#### **2.2.2.1 Ubicación**

El experimento se realizó en el lote 3730203 de la finca Morenas Fernández en el municipio de la Gomera, Escuintla. Ubicado en las coordenadas Latitud 13°56'20.34' Norte y Longitud 90°59'32.17'' Oeste a una altitud de 6 m s.n.m.



#### **2.2.2.2 Suelos**

La finca presenta suelos entisoles según estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del Sur de Guatemala (CENGICAÑA, 1994).

Son los suelos menos evolucionados presentes en la región, con horizonte AC, y ocupan un 16 por ciento del área. Los mismos se encuentran en los valles y explayamientos aluviales en forma de fajas angostas en las partes medias y bajas con ampliaciones en el litoral en la planicie costera. Tienen poca o ninguna evolución y muy poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos (CENGICAÑA, 2014).

En su mayoría son suelos permeables de texturas gruesas y arenosas. El subsuelo de los Entisoles generalmente es arenoso y son suelos que presentan déficit de agua en la época seca (CENGICAÑA, 2014).

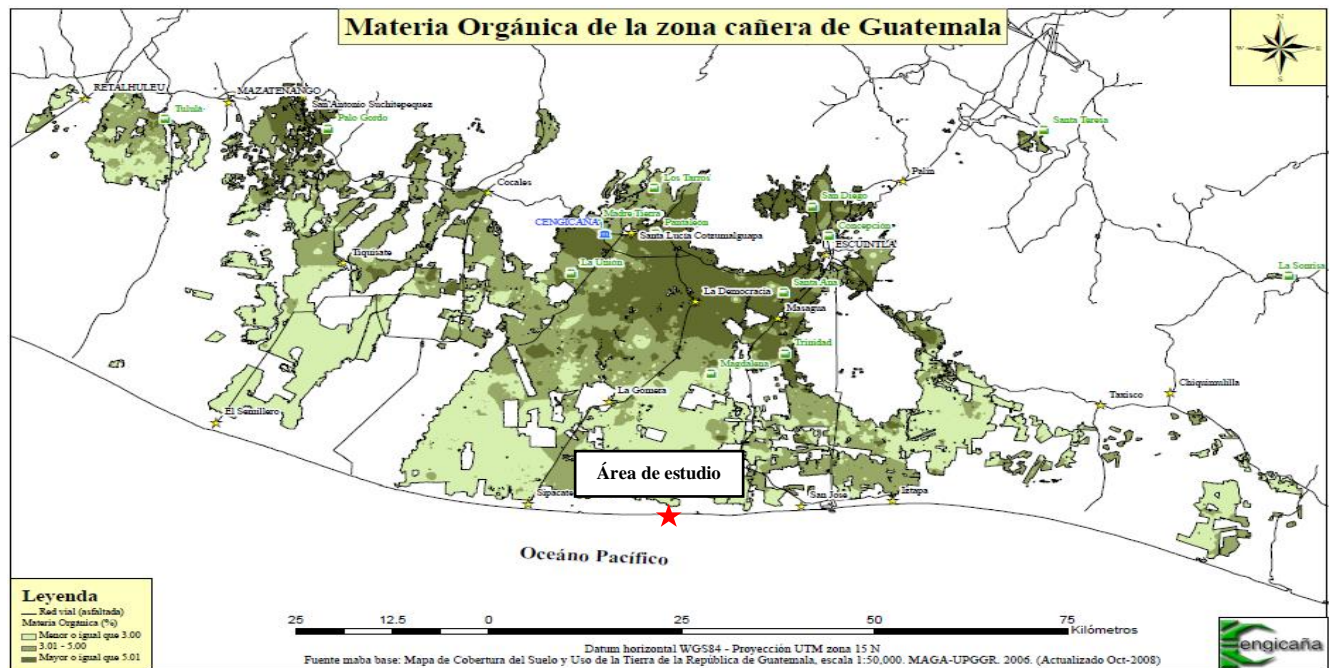
Son suelos con muy baja retención de agua, limitado por la presencia de capas de arena en el perfil (CENGICAÑA, 2017).

En la figura 8 se representa espacialmente el porcentaje de material orgánico en la mayor parte de la zona costera de nuestro país.

#### **2.2.2.3 Variedad de caña RB 84 5210**

Habito de crecimiento semi-erecto, con torcedura ligeramente abierta, de buena adaptabilidad en ambientes intermediarios de textura arenosa (Catálogo de variedades de CENGICAÑA. 2004).

Adaptada bien para espacios reducidos, aptas características para cosecha mecanizada, alto rendimiento con un estimado de 120 t/ha de caña, también para una cosecha manual y buen volumen de carga. Resistente a enfermedades como el mosaico, escaldadura, etc. (Catálogo de variedades de CENGICAÑA. 2004).



Fuente: CENGICAÑA, 2014.

Figura 8. Contenido de materia orgánica en los suelos de la zona cañera de Guatemala.

#### 2.2.2.4 Antecedentes del uso de cachaza y compost de cachaza

Tayun (2011), evaluó diferentes dosis de compost de cachaza en el rendimiento de caña de azúcar en plantía en la finca Velásquez del Ingenio Magdalena S.A. en suelos Inceptisoles. Encontrando respuesta significativa con aplicaciones de compost de cachaza en dosis bajas (4 t/ha) y según resultados se obtuvieron un incremento de 17.5 t/ha de caña con respecto al testigo químico a una dosis de 3.83 qq/ha., de la fórmula 18-46-0.

Pérez O. (2003), en el estudio titulado: “Utilización de cachaza y fertilización química en un suelo Andisol de características físicas arenoso franco en la zona alta de la región cañera” menciona que los suelos presentan deficiencias nutricionales debido a las precipitaciones elevadas (mayor a 4000 mm anuales) por lo que para obtener producciones económicamente rentables en estos suelos es necesario aplicar altas dosis de fósforo y agregar otros nutrientes. Se evaluaron tres niveles de cachaza fresca (0, 20 y 40 t/ha),

combinado con dos niveles de nitrógeno (50 y 100 kg de Nitrógeno por hectárea) y dos niveles de fósforo (0 y 50 kg de Fósforo por hectárea) arreglados en factorial 3x2x2. Adicionalmente cuatro tratamientos, el cual incluyó un testigo absoluto.

Entre sus resultados obtenidos están el efecto significativo de la cachaza sobre la producción de caña, en tanto que el efecto de nitrógeno y de fósforo en promedio no fue significativos. La producción de caña se incrementó en 18.2 y 15.2 t/ha., con la aplicación de 40 y 20 t/ha de cachaza respectivamente con relación al tratamiento sin cachaza.

El IMPA (1975); reportó en campos experimentales de las Huastecas, Veracruz, incrementos en los rendimientos de 32 t/ha de caña con la aplicación de 20 toneladas de cachaza y fertilización comercial. Se señala que la cachaza en muy pocas ocasiones tiene efectos sobre los rendimientos de más de un 100%, por lo general fluctúa entre 25 y 30%.

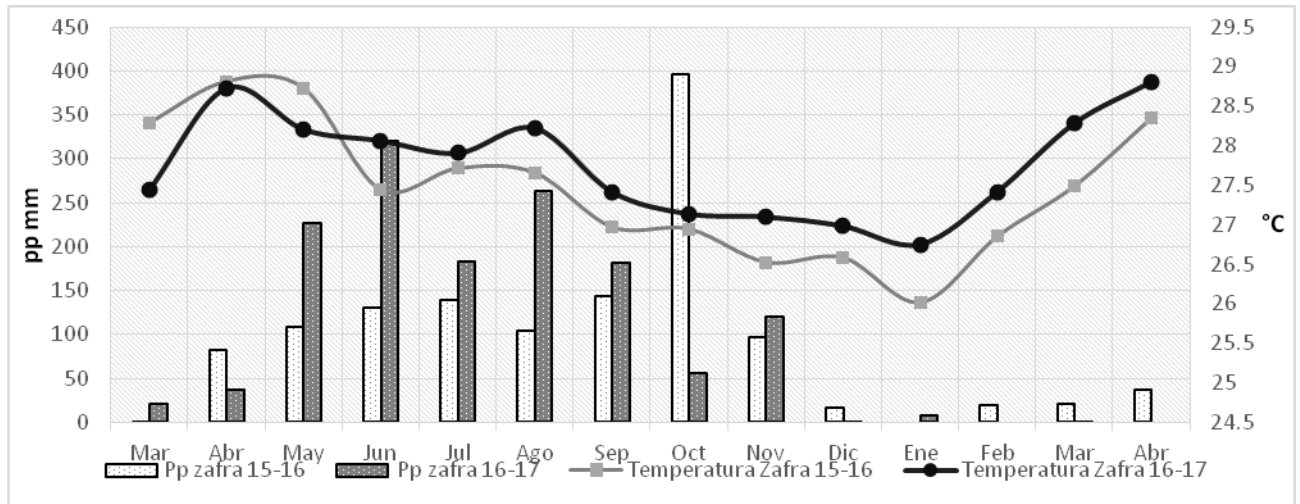
En Cuba se han reportado incrementos de un 25% en los rendimientos de campo tapando los esquejes de caña colocados en el surco durante la plantación con cachaza fresca en dosis de 50 t/ha, en época seca y lugares sin riego (Arzola, 1996).

Asimismo, mejora la germinación (Garcia y Gómez, 1997) y se sustituye la fertilización mineral excepto el potásico durante no menos de cuatro cosechas (INICA, 1996 y Latin American Alliance, 1997).

#### **2.2.2.5 Condiciones climáticas**

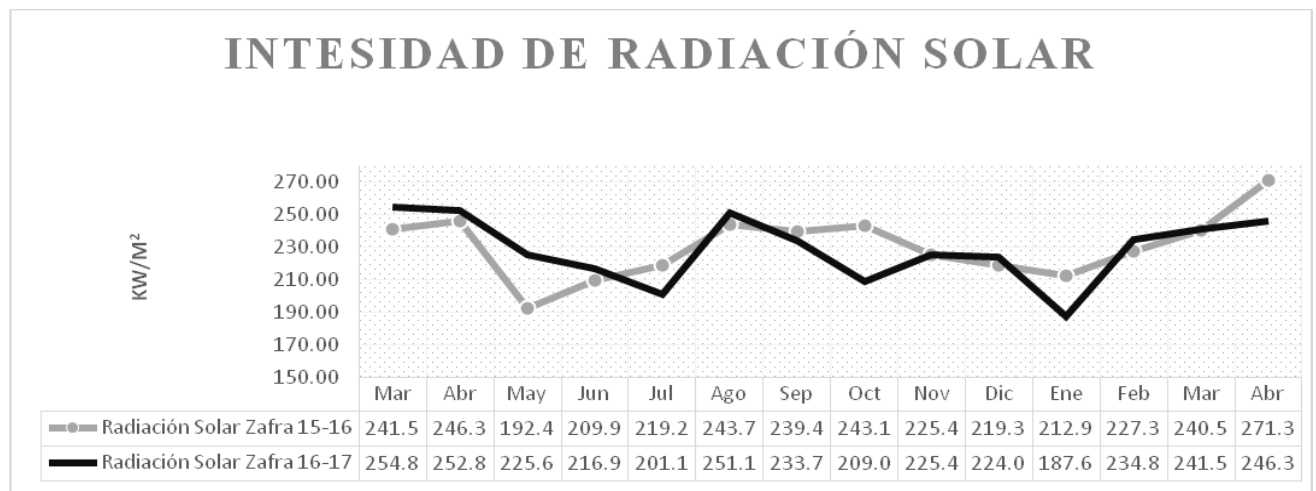
En lo que respecta a las variables climáticas que son factores determinantes para el desarrollo de la planta de la caña de azúcar; tanto la precipitación como la temperatura promedio fueron mayores cuando el experimento se hallaba establecido, esto en la zafra 2016-2017 comparado con el año anterior zafra 2015-2016 (Figuras 9 y 10). Se observa

que la precipitación en cada mes fue mayor lo que logró causar para en este período inundaciones constantes en el suelo y haber provocado cambios en las características nutricionales en el cultivo de la caña en su momento.



Fuente. ICC.

Figura 9. Comparativo de precipitaciones y temperatura zafra 2015-2016 y zafra 2016-2017.



Fuente. ICC.

Figura 10. Comparativo entre las zafra 2015-2016 y 2016-2017 sobre la intensidad solar.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos al suelo tipo Entisol en la producción de caña de azúcar en la finca Morenas Fernández de la Gomera, Escuintla del Ingenio Magdalena S.A.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la respuesta de la caña de azúcar a los métodos de aplicación de fertilizantes; incorporado o en banda y al voleo o superficial en las variables de altura de planta, diámetro, toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea.
2. Determinar el efecto de las aplicaciones de material orgánico (compost de cachaza) y material inorgánico (fertilizante químico) en la altura, diámetro, rendimientos en toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea.

## **2.4 Hipótesis**

1. Por lo menos uno de los métodos de aplicación de fertilizante a evaluar presentará diferencia significativa en las variables de estudio.
2. Por lo menos una combinación de las fuentes orgánicas e inorgánicas presentará diferencia significativa en las variables de rendimiento.

## 2.5 Metodología

### 2.5.1 Análisis de suelos, compost de cachaza y análisis de tejido vegetal

#### 2.5.1.1 Análisis preliminar del suelo y compost de cachaza

Anterior al establecimiento de la investigación se realizó el muestreo de suelo obteniendo submuestras de distintos puntos del área de estudio, utilizando un método de muestreo aleatorizado. Se tomaron muestras de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm de profundidad, con el fin de obtener mejor conocimiento del estado nutricional del suelo. Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio de análisis Suelos, Agua y plantas Salvador Castillo Orellana de La Facultad de Agronomía de La Universidad de San Carlos de Guatemala y entre las características según el cuadro 3, el suelo presentó un pH neutro; cualidad óptima para el cultivo, alto nivel de fósforo, la concentración de potasio moderadamente alta, el calcio y magnesio altos; lo cual concuerda con índice de saturación de bases el cual es alto y el porcentaje de materia orgánica bastante bajo.

#### 2.5.1.2 Características químicas del suelo

En el Cuadro 3 se muestran las características nutricionales del suelo donde se realizó la investigación.

**Cuadro 3. Resultado del estado nutricional del suelo**

Identificación		pH	Ppm					meq/100 g					Porcentaje	
			P	Cu	Zn	Fe	Mn	ClC	Ca	Mg	Na	K	SB.	M.O.
RANGO MEDIO		6 a 6.5	12 a 16	2 a 4	4 a 6	10 a 15	10 a 15	20 a 25	4 a 8	1.5 a 2	--	0.27 a 0.38	75 a 90	4 a 5
M-1	0 a 20 cm	7.1	61	4.00	3.00	24.00	28.00	15.64	10.73	4.61	0.78	0.33	>100	1.26
M-2	20 a 40 cm	7.2	78	3.00	3.50	12.50	35.50	17.70	11.23	6.46	0.70	0.79	>100	1.91

Fuente. Laboratorio de análisis de suelos, agua y planta.

### 2.5.1.3 Características químicas del compost de cachaza

En el Cuadro 4 se observan las características nutricionales del compost de cachaza presentando un pH neutro, una excelente relación carbono/nitrógeno, valor alto de materia orgánica, cantidades de fósforo bastante alto, como también excelentes cantidades de micronutrientes en cuanto a zinc y manganeso.

**Cuadro 4. Características químicas nutricionales del compost de cachaza**

		Porcentaje						ppm		
pH	C/N	MO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn
6.6	16.5	39	1.39	3.38	1.45	2.1	0.96	4152	2414	193

Fuente. Laboratorio de análisis de suelos, agua y planta.

En el Cuadro 5 se presentan los niveles asimilables del nitrógeno, fósforo y potasio del compost de cachaza describiendo los nutrientes totales que aporta una tonelada del material al suelo.

**Cuadro 5. Niveles asimilables de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en compost de cachaza por tonelada métrica**

Elemento	Nutrientes totales (kg/t de Compost)	Nutrientes asimilables (kg/t de compost)
N	13.9	2.78 a 6.95
P	33.8	20.28
K	14.5	8.7

Fuente: Muñoz, 2015.

## 2.5.2 Metodología experimental

### 2.5.2.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental con bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas en donde las parcelas grandes correspondieron a los métodos de

aplicación (en banda o incorporado y al voleo o superficial sin incorporar) y las parcelas pequeñas correspondieron a los niveles de material orgánico e inorgánico propuestos.

#### **2.5.2.2 Unidad experimental**

La unidad experimental fue de 48 m<sup>2</sup>, con 8 metros de largo y 6 metros de ancho con surcos separados a 1.5 m, dejando entre cada parcela 1.5 m de calle para la mejor identificación de las parcelas.

#### **2.5.2.3 Unidad de muestreo**

La unidad de muestreo estuvo comprendida por los dos surcos centrales de la unidad experimental para la toma de datos de las variables de diámetro de entrenudo y altura de plata.

Para la variable de toneladas de caña por hectárea se tomaron los cuatro surcos de la unidad experimental.

### **2.5.3 Tratamientos evaluados**

#### **2.5.3.1 Factor A (Métodos de fertilización)**

El factor A fue compuesto por los métodos de fertilización con el fin de determinar si las pérdidas por volatilización y lixiviación de parte del nitrógeno eran evidentes y observar si los cambios de aplicarlo al voleo o superficialmente en la planta presentara una respuesta distinta con respecto a la aplicación en banda (incorporado) como comúnmente se realiza, otro motivo fue la respuesta de la planta a la incorporación y no incorporación del compost de cachaza para observar la disponibilidad de nutrientes por parte del material orgánico.



### **2.5.3.2 Factor B (Niveles de material orgánico e inorgánico)**

Fueron representados por los niveles de material orgánico e inorgánico, el propósito fue determinar el comportamiento de la planta a la respuesta de la disponibilidad de nutrientes al mezclar el fertilizante químico con el compost, ya que al mezclarlo la liberación de nutrientes sería más lenta y aprovechada de mejor forma por la planta, proponiendo niveles en relaciones equivalente 1:1 y 1:2 fertilizante y compost, al mismo tiempo el fertilizante de la dosis comercial que se emplea en dicha finca y el compost de cachaza en sus diferentes cantidades propuestas en el Cuadro 6, un tratamiento en el cual se redujo un 25 % la dosis de fertilizante químico mezclado con compost de cachaza de la relación 1:2 para determinar si existía por medio de este tratamiento una amortiguación o aporte suficiente del compost de cachaza al fertilizante, un nivel de 8 t/ha de compost de cachaza con el fin de determinar si al aplicar esta dosis la planta respondía de distinta forma y ser una opción a utilizar como dosis comercial y por último un testigo absoluto.

En el Cuadro 6 se describen los métodos de fertilización y los niveles de material orgánico e inorgánico empleados para dicha investigación.

## **1.5.4 Variables**

### **2.5.4.1 Altura de tallos**

Se midió la longitud de 5 tallos por parcela, la unidad de muestreo fueron los dos surcos centrales de cada parcela, con el objetivo de minimizar el efecto de borde y no alterar la toma de datos. La altura se midió desde el nivel del suelo hasta el último entrenudo visible de la planta. La medición se realizó a los 120 días de edad del cultivo.

**Cuadro 6. Descripción de los tratamientos**

No	Tratamientos		Dosis (kg/ha)	Aporte de Compost (t/ha)		
	Factor A	Factor B		kg N	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg K <sub>2</sub> O
1	Incorporado	Fertilizante y Compost 1:1	120-20-60 (N, P, K) y 404 de Compost	0.45	3.93	1.96
2	Superficial					
3	Incorporado	Fertilizante y Compost 1:2	120-20-60 (N, P, K) y 808 de Compost	0.9	7.86	3.92
4	Superficial					
5	Incorporado	Fertilizante y Compost	90-15-45 (N, P, K) y 808 de Compost*	0.9	7.86	3.92
6	Superficial					
7	Incorporado	Testigo Relativo	120-20-60 (N, P, K)	-	-	-
8	Superficial					
9	Incorporado	Compost	404	0.45	3.93	1.96
10	Superficial					
11	Incorporado	Compost	808	0.9	7.86	3.92
12	Superficial					
13	Incorporado	Compost	8000	8.88	77.92	31.36
14	Superficial					
15	Incorporado	Testigo Absoluto	0-0-0	-	-	-
16	Superficial					

\*Se redujo un 25 % la dosis comercial redujo

#### 2.5.4.2 Diámetro de tallos

Se tomaron 5 tallos por parcela tomando lectura cuatro hojas abajo de la última lígula visible (TVD+4), únicamente de los dos surcos centrales de cada parcela para evitar el efecto de borde proporcionado por los tratamientos cercanos. Se realizó la medida a los 120 días de edad del cultivo empleando el instrumento calibre Vernier.

#### **2.5.4.3 Toneladas de caña por hectárea**

Se determinó el 03 de abril del 2017. Se cortaron los 4 surcos de la unidad experimental y se pesó utilizando una balanza electrónica.

#### **2.5.4.4 Toneladas de azúcar por hectárea**

Al momento de la cosecha se tomaron 5 tallos molederos de aproximadamente 35 cm de la chorra de caña de cada unidad experimental, seguidamente fueron enviadas al laboratorio del ingenio para el análisis respectivo de calidad del jugo, brix, azúcares reductores, Pol (%) y pureza (Anexos).

Se presenta el resultado de estas variables en las cuales puede observarse el comportamiento respecto

#### **2.5.4.5 Análisis de tejido vegetal**

Se realizó un análisis de tejido vegetal a los 150 días después de la aplicación con el propósito de observar las tendencias de los nutrientes en cada uno de los métodos de fertilización.

La metodología consistió en los pasos:

1. Se seleccionó la hoja primera de la lígula visible de 5 plantas de los surcos centrales de la parcela.
2. Se delimitaron los tercios superior e inferior y se tomó únicamente el tercio medio. Luego se eliminó la nervadura central y se tomó solamente la lámina foliar.
3. Las muestras frescas del tercio medio de la hoja se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas y fueron enviadas al laboratorio de suelos, aguas y plantas de La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos para su evaluación o cuantificación.

## **2.5.5 Manejo agronómico del experimento**

### **2.5.5.1 Labores previas a la fertilización**

Seguido de las labores postcosecha de la finca donde se estableció el experimento, a los 40 días después del corte en caña de segundo corte o primera soca, se inició con la delimitación del área para el establecimiento del experimento utilizando herramientas como cinta métrica, estacas, machetes, azadones y personal de campo. Se zanjeó a los ambos costados del surco en donde se aplicó el método de aplicación en banda.

### **2.5.5.2 Fertilización**

Una vez delimitada el área de cada unidad experimental y seguido de la distribución de los tratamientos planteados se prosiguió a fertilizar cada una de las parcelas en donde se emplearon fuentes orgánicas (compost de cachaza) y fuentes inorgánicas (fertilizante químico). El compost de cachaza con el que se mezcló el fertilizante fue el que produce el ingenio Magdalena S.A.

### **2.5.5.3 Aplicación de las fuentes orgánicas e inorgánicas**

Se utilizaron dos métodos de aplicación los cuales fueron en banda a ambos lados del surco y la aplicación al voleo o superficial, fueron aplicadas manualmente ya que se utilizaron parcelas de 48 m<sup>2</sup> para cada tratamiento con el fin de su fácil aplicación, manejo y control, para el método de incorporado al suelo se aplicó a una distancia del surco de 15 cm y a una profundidad de 30 cm.

#### 2.5.5.4 Cosecha

La cosecha se realizó a los 372 días después de la última fecha de corte (3 de abril de 2017) empleando para la contabilización de cada parcela una alzadora de caña (Cameco), cadenas, balanza electrónica y personal de campo.

#### 2.5.6 Análisis de la información

##### 2.5.6.1 Análisis de varianza

Las variables de altura y diámetro de tallos, toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea fueron evaluadas según el análisis de varianza del diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.

##### 2.5.6.2 Modelo experimental

Se empleó el modelo estadístico-matemático siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\alpha\rho)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Respuesta de las variables toneladas métricas de caña por hectárea, toneladas métricas de azúcar por hectárea, altura y diámetro de tallos de la planta.

$\mu$  = Promedio de la producción en TCH, TAH, altura y diámetro de tallos de la planta.

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo bloque.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo método de aplicación.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo método de aplicación con el j-ésimo bloque.

$\rho_k$  = Efecto del k-ésimo nivel de la unidad experimental.

$(\alpha\rho)_{ik}$  = Efecto debido a la interacción del i-ésimo método de aplicación con el k-ésimo nivel de la unidad experimental.

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental asociado a  $Y_{ijk}$ -ésimo unidad experimental.

### 2.5.7.3 Prueba de medias

A las variables que presentaron diferencias significativas estadísticas ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) se les procedió a realizar la prueba de medias según el criterio de Tukey con la idea de comprobar cuál de los tratamientos mostraba la mejor respuesta, empleando el software estadístico *InfoStat®*.

## 2.6 Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados de las variables medidas durante la investigación:

### 2.6.1 Altura y diámetro de tallos

En el Cuadro 7 se presentan las variables de estudio: alturas expresadas en metro y diámetro de tallo en centímetros tomados a los 120 días después de la cosecha haciendo referencia a la media de los niveles de material empleados en los diferentes métodos de aplicación de fertilizante, más adelante se presenta quien de los niveles presentó diferencia estadística.

La altura de la planta y el diámetro de tallos son parámetros de crecimiento importantes en la producción de azúcar que dependen de las primeras etapas del cultivo y de las condiciones edáficas y climáticas óptimas para estimular un crecimiento y desarrollo deseable, afectando de forma directa el rendimiento de tonelajes de caña (Wagneret, *al*, 2008).

En la variable de altura se observa según Cuadro 7 que los valores oscilaron entre 2.07 y 2.45 m correspondiendo el valor más bajo al nivel de material testigo absoluto, de la

misma manera para la variable diámetro, indicando que si hubo respuesta de los tratamientos evaluados hasta los 120 días después de cosecha.

**Cuadro 7. Valores medios de las variables altura de planta y diámetro de tallo realizados a los 120 días después de la cosecha**

Niveles del factor B	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)
120-20-60 y 404 kg de Compost	2.45	2.42
120-20-60 y 808 kg de Compost	2.44	2.39
90-15-45 y 808 kg de Compost	2.34	2.35
120-20-60	2.36	2.35
404	2.22	2.36
808	2.07	2.32
8000	2.2	2.25
0-0-0	2.07	2.27

En el Cuadro 8, se presentan los resultados del análisis de varianza realizado en los datos de la variable altura de planta.

**Cuadro 8. ANDEVA, variable altura de planta.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura (m)	64	0.6	0.4	6.66

**Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III)**

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.47	21	0.07	3.03	0.0011
Método de fertilización	0.00025	1	0.00025	0.02	0.8989
Bloque	0.13	3	0.04	1.84	0.1542
Método*Bloque	0.04	3	0.01	0.55	0.6489
Niveles de material	1.11	7	0.16	6.9	<0.0001
Método*Niveles de material	0.19	7	0.03	1.15	0.3492
Error	0.97	42	0.02		
Total	2.43	63			

El Cuadro 8, muestra que no existió una respuesta significativa estadística por parte de los métodos de fertilización, pero si de parte de los niveles de material orgánico e inorgánico por lo que al menos uno presentó significancia en la altura de planta, esto debido a que p-valor es menor al nivel de significancia.

En el Cuadro 9 se observa que no existió diferencia significativa de parte de los métodos de fertilización en términos de diámetro de tallo (cm), caso contrario con los niveles de material orgánico e inorgánico evaluados en donde por lo menos uno presenta mejoras significativas en el diámetro de los tallos de la caña de azúcar debido a que p-valor es menor al nivel de significancia.

El Cuadro 9, se presentan los resultados del análisis de varianza realizado en los datos de la variable diámetro de tallo.

#### **Cuadro 9. ANDEVA, variable diámetro de tallo**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro (cm)	64	0.50	0.25	4.48

#### **Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III)**

Fuente de variación	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.45	21	0.02	1.97	0.0302
Método de fertilización	0.03	1	0.03	2.79	0.1932
Bloque	0.04	3	0.01	1.16	0.3373
Método*Bloque	0.03	3	0.01	1.05	0.3804
Niveles de Material	0.18	7	0.03	2.39	0.0376
Método*Niveles de Material	0.17	7	0.02	2.17	0.0571
Error	0.46	42	0.01		
Total	0.92	63			

En el Cuadro 10, se presentan los resultados de la prueba de medias de los datos de las variables de altura de planta y diámetro de tallo.



Según la prueba de medias (Cuadro 10) puede observarse que el nivel de material orgánico e inorgánico 120-20-60 (kg/ha) de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y 0.4 t/ha de compost de cachaza y 120-20-60 (kg/ha) de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y 0.8 t/ha de compost de cachaza presentaron las mejores respuestas estadísticamente en la altura de planta de la caña de azúcar, igualmente puede observarse que el material orgánico e inorgánico para diámetro de tallos estadísticamente fue el tratamiento 120-20-60 (kg/ha) de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y 0.4 t/ha de compost de cachaza, caso contrario sucedió con el material inorgánico testigo y orgánicos con los niveles más bajos.

**Cuadro 10. POSTANDEVA, variable altura de planta y diámetro de entrenudo.**

<b>Niveles del material orgánico e inorgánico</b>	<b>Altura de planta (m)</b>	<b>Diámetro de tallo (cm)</b>
120-20-60 (N,P,K) y 404 kg de Compost	2.45 A	2.42 A
120-20-60 (N,P,K) y 808 kg de Compost	2.44 A	2.39 A B
90-15-45 (N,P,K) y 808 kg de Compost*	2.34 A B	2.35 A B
120-20-60 (testigo relativo)	2.36 A B	2.35 A B
404	2.22 A B C	2.36 A B
808	2.07 C	2.32 A B
8000	2.2 A B C	2.25 B
0-0-0 (testigo absoluto)	2.07 C	2.27 A B

Valores promedios obtenidos de cada nivel de material orgánico e inorgánico.

A, B y C: letras iguales indican medias sin diferencia significativa (Alpha: 0.05).

### 2.6.2 Producción de toneladas de caña por hectárea (t/ha) y toneladas de azúcar por hectárea (t/ha de azúcar).

En el Cuadro 12, se presentan los valores promedios obtenidos de las producciones (t/ha de caña y t/ha de azúcar), como también los análisis de varianza para cada variable.

Se observa que los valores de rendimiento de caña oscilaron entre 110.08 y 133.23 t/ha, correspondiendo el valor más bajo al material inorgánico testigo absoluto, de igual manera se observan los valores de rendimiento de azúcar, con valores que oscilaron entre 14.63 y 12.15 t/ha.

**Cuadro 11. Valores promedios para cada nivel evaluado del factor B**

Niveles del material orgánico e inorgánico	Toneladas de caña por hectárea (TCH)	Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)
120-20-60 y 404 kg de Compost	133.23	14.63
120-20-60 y 808 kg de Compost	122.34	13.33
90-15-45* y 808 kg de Compost	118.39	12.96
120-20-60	127.19	14.3
404	106.28	11.76
808	111.46	12.92
8000	131.12	14.04
0-0-0	110.08	12.15

\* Nivel de fertilizante químico reducido un 25 % la dosis comercial.

En los Cuadros 12 y 13, se presentan los ANDEVA del rendimiento en la producción de caña y en la producción de azúcar.

De acuerdo con los resultados presentados en los Cuadros 12 y 13, no existen diferencias significativas entre los factores evaluados ni su interacción.

Esta respuesta rechaza la hipótesis planteada de que al menos una combinación entre las materiales presentaría resultados diferentes en la producción ya que era la esperada debido a que características como diámetro de tallos y altura de planta son factores importantes en la producción de caña de azúcar que dependen de las primeras etapas del cultivo; por lo que, al haber obtenido respuestas significativas de estas variables en las iniciaciones del cultivo, se proyectaba que la respuesta en la producción final de la evaluación presentara la misma expresión.

**Cuadro 12. ANDEVA para toneladas de caña por hectárea.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
t/ha	64	0.4	0.09	16.76

Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11143.52	21	530.64	1.31	0.2224
Método	54.32	1	54.32	4.16	0.1342
Bloque	1632.56	3	544.19	1.35	0.2726
Método*Bloque	39.2	3	13.07	0.03	0.9921
Niveles de material	5089.43	7	727.06	1.8	0.1132
Método*Niveles de material	4328.01	7	618.29	1.53	0.1842
Error	16989.37	42	404.51		
Total	28132.89	63			

**Cuadro 13. ANDEVA para toneladas de azúcar por hectárea.**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
t.az/ha	64	0.35	0.03	17.58

Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III)

Fuente de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	123.41	21	5.88	1.08	0.4024	
Método	0.96	1	0.96	9.83	0.0518	
Bloque	21.69	3	7.23	1.33	0.2775	
Método*Bloque	0.29	3	0.1	0.02	0.9967	
Niveles de material	54.77	7	7.82	1.44	0.2156	
Método*Niveles de material	45.7	7	6.53	1.2	0.3236	
Error	228.36	42	5.44			
Total	351.77	63				

En las Figuras 11 y 12, se observa el comportamiento promedio de los niveles de material orgánico e inorgánico de los resultados en general por ambos métodos de aplicación para las variables de toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea

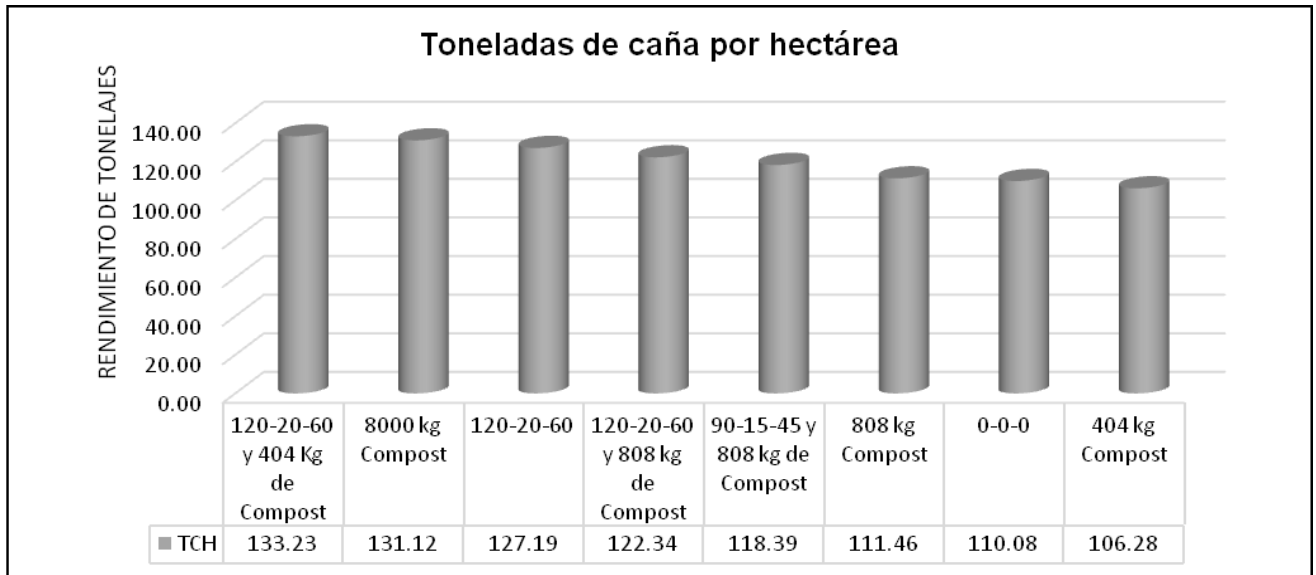


Figura 11. Rendimientos de toneladas de caña por hectárea.

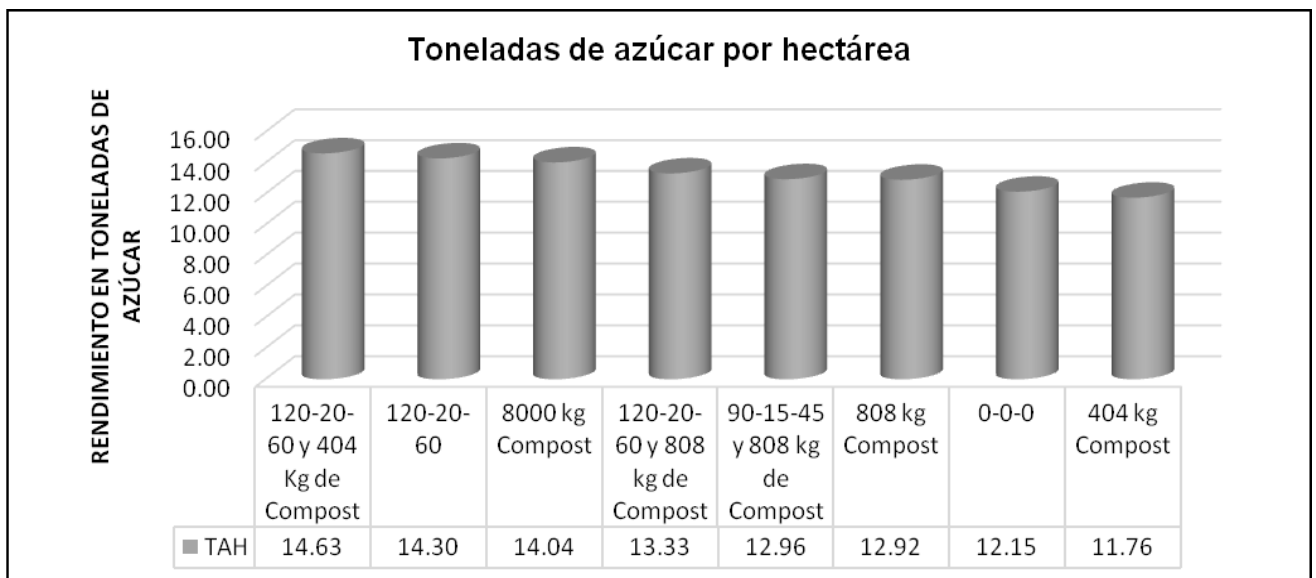


Figura 12. Rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea.

Este comportamiento se pudo deber distintos factores como a la inconsistencia de datos de las repeticiones esto de cada tratamiento causadas por las condiciones climáticas que prevalecieron durante el período en que se desarrolló la investigación, la precipitación pluvial fue superior en 548.2 mm con respecto al año anterior para mayo a septiembre (Figura 7), el exceso pudo haber influido en la pérdida de nitrógeno por lixiviación y por escorrentía lo que indujo a que se mezclara entre las unidades de otros tratamientos, causando posibles alteraciones en la disponibilidad de nutrientes para la planta.

### 2.6.3 Resultados de análisis foliar

En el Cuadro 14 se observan las cantidades promedio de la concentración de nutrientes en el cultivo como respuesta a los métodos de aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos aplicados al suelo.

**Cuadro 14. Media de los resultados químicos del análisis de tejido vegetal realizados a los 142 días después de la fertilización.**

DESCRIPCIÓN	Porcentaje					ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B
RANGOS ACEPTABLES	2 a 2.6	0.18 a 0.3	1.1 a 1.8	0.2 a 0.5	0.1 a 0.35	-----	5 a 15	20 a 100	40 a 250	25 a 400	4 a 30
SUPERFICIAL	1.24	0.19	1.26	0.44	0.15	110	5	11	52	48	16
INCORPORADO	1.27	0.19	1.23	0.43	0.15	108	5	12	54	50	13

Fuente. Laboratorio de análisis de suelos, agua y planta.

En el Cuadro 14, se observa que la media de concentración de nitrógeno de todos los tratamientos independientemente del método de aplicación estuvo por debajo del rango aceptable, lo que indica que el nitrógeno pudo haber influido en limitar la producción de cada unidad experimental.

Se observa que los datos del nivel de material orgánico siete (8 t/ha de compost de cachaza), los valores obtenidos fueron consistentes respecto a los demás tratamientos, lo que se pudo deber a que la disponibilidad de nutrientes estuvo en función de la mineralización lo que ocasionó una menor pedida (Sacbajá, 2018).

El nitrógeno se encuentra por debajo del rango de suficiencia no así el resto de los elementos analizados los cuales se encuentran dentro de los rangos aceptables según el laboratorio de análisis de suelos, agua y plantas.

## **2.7 Conclusiones**

En base a los objetivos planteados e hipótesis propuestas se establecen las conclusiones:

1. Bajo las condiciones climáticas y edáficas en que se realizó la presente investigación se concluye que no existió diferencia estadística significativa entre los métodos aplicación de fertilizantes al suelo en las variables de altura de planta, diámetro de tallo, toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea.
2. Los niveles de material orgánico e inorgánico 120-20-60 (Kg/ha) de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  más 0.4 y 0.8 t/ha de compost de cachaza respectivamente presentaron diferencia estadística significativa en las variables de diámetro de tallo y altura de plantas tomadas a los 120 días después de la aplicación y cosechado a los 364 días después del último día de corte.
3. Para las variables de producción: toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea no se encontraron diferencias significativas.

## 2.8 Recomendaciones

Modificar el planteamiento de la investigación en cuanto a los niveles de compost de cachaza con niveles de fertilizante químico en donde el aporte del compost de cachaza sea mayor en relación a la dosis química y repetirla en sitios donde las condiciones climáticas y edáficas no afecten el crecimiento y desarrollo del cultivo.

## 2.9 Bibliografía

- 2 Alexander, A. 1985. The energy cane alternative. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers. 509 p. (Sugar Series, 6).
- 3 Arzola, N. 1993. Utilización en la agricultura cañera de los residuos de la agroindustria de la caña de azúcar. *In* Primer encuentro nacional de agricultura orgánica. Mesa redonda. Cuba, ISACA.
- 4 Arzola, PN; García del Risco, E. 1997. Enmiendas y fuentes alternativas de nutrientes para la caña de azúcar. Cuba, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Curso 1. 13 p.
- 5 Basanta, R; García Delgado, MA; Cervantes Martínez, JE; Mata Vásquez, H; Bustos Vásquez, G. 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: Una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5(4):293-305. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72440508>
- 6 Blackburn, F. 1991. Sugarcane. Essex, Reino Unido, Longman Group. (Tropical Agricultural Series). *In* El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Colombia. p. 31-62.
- 7 Bauer, A; Black, AL. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal* 58(1):185-193.

Disponible en  
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/58/1/SS0580010185?access=0&view=pdf>

- 8 Belcher, CR; Ragland, JL. 1972. Phosphorus absorption by sod- planted corn (*Zea mays* L.) from surface applied phosphorus. *Agronomy Journal* 64:754-757.
  
- 9 Cassalett, C.; Torres, J, Isaacs, C. 1995. Fertilización y nutrición. *In* CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 153.
  
- 10 Castro, O. 2014. El riego en el cultivo de caña de azúcar. *In* El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Artemis Edinter. p. 183.
  
- 11 Castro, OR. 2010. La variabilidad de la radiación solar en la superficie terrestre y sus efectos en la producción de caña de azúcar (en línea). Presentación de resultados de investigación 2009-2010. Memoria. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. p. 281.
  
- 12 CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2012. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. (eds.). Guatemala, Artemis Edinter. p. 7 y 149.
  
- 13 CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2017. Memoria presentación de resultados de investigación zafra 16-17. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). Guatemala, Artemis Edinter. p. 27.



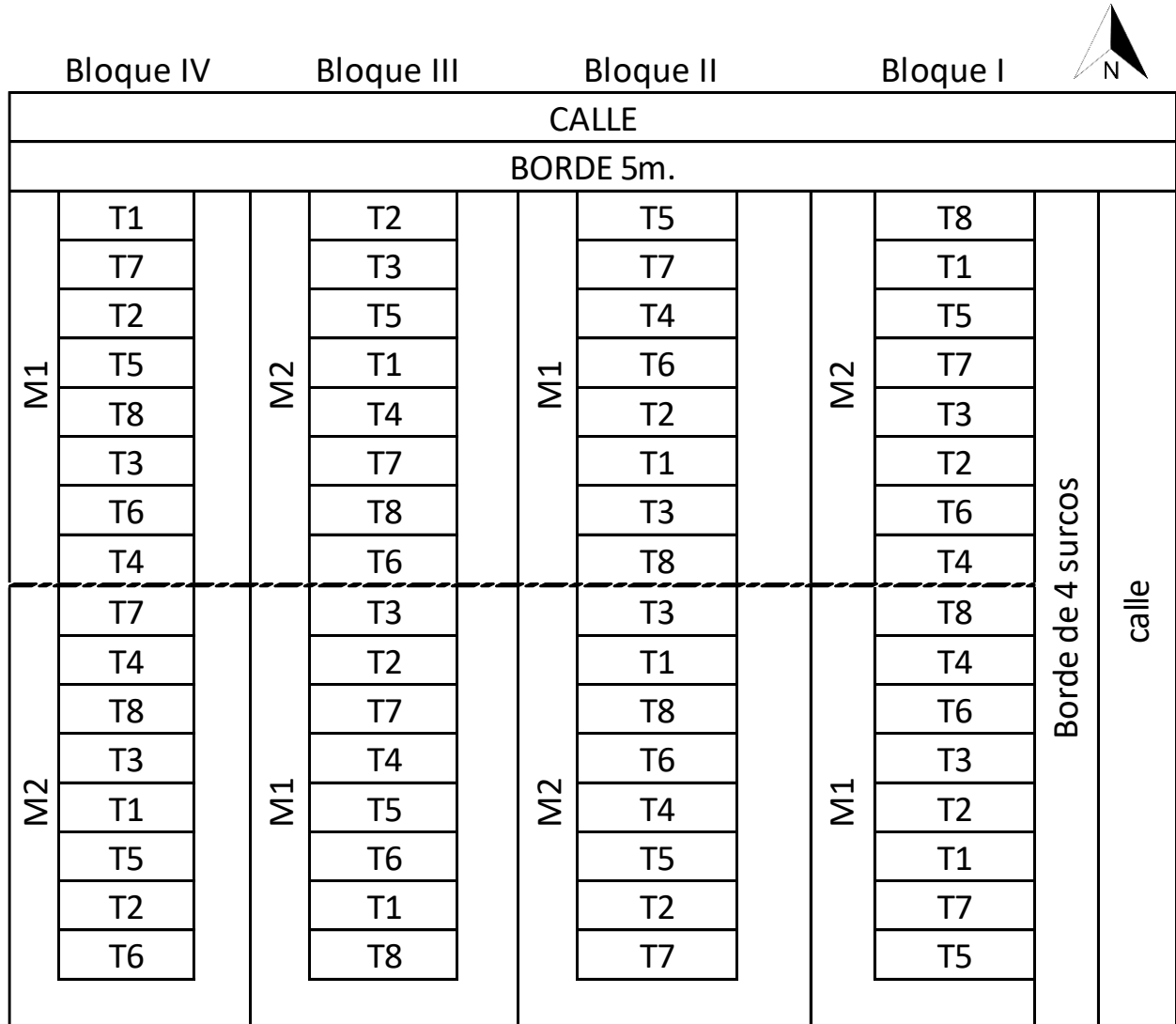
- 14 Duff, D. 2002. Plants monocotyledons (en línea). Taxonomy. Consultado 22 set. 2002. Disponible en <http://www.innvista.com/taxonomy/plantsmonocot/default.htm>
- 15 Dávila, C; Torres, J; Isaac, E. 1995. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Valle del Cauca, Cali, Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. p. 120-122.
- 16 FAO (Italia). 2002. Programa de fertilizantes de la FAO; Los fertilizantes y su uso, el abono orgánico mejora la eficiencia de los fertilizantes (en línea). Consultado 23 mar. 2017. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>
- 17 FAO, Italia. 2002. Cómo aplicar los fertilizantes (en línea). *In* Los fertilizantes y su uso. 4 ed. Roma, Italia, FAO / Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. p. 48-51. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- 18 García del Risco, E; Gómez, F. 1997. Efectividad de la cachaza en el tapado de la semilla. Revista Cañaveral (abril-junio):35-37.
- 19 Godoy, N. 1997. Efecto del glifosato como madurante aplicado a diferentes edades y cosechado en distintos periodos post aplicación en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) variedad CP72- 1210. Tesis Ing. Agr. Escuintla, Guatemala, Universidad Rafael Landivar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 57 p.
- 20 ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2016. Estación meteorológica Grijalva. Guatemala. Consultado 29 ago. 2016. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/login>
- 21 IMPA (Asociación Mexicana de Ingeniería de Proyectos, México). 1975. Veinticinco años de investigaciones cañeras en México. México. p. 57-58. (Libro no. 8).

- 22 Julca, A; Meneses, L; Blas-Sevillano, R; Beelo-Amez, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA (Chile) 24(1):49-61. Disponible en [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292006000100009](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009)
- 23 Labrador, J; Guiberteau, A. 2000. La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Hojas Divulgadoras (España) no. 3/93HD, 43 p.
- 24 Mallarino, A. 1998. Métodos de fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en siembra directa: Recientes avances en el cinturón del maíz. *In* Congreso Nacional de AAPRESID (6., 1998, Mar del Plata, Argentina). Rosario, Argentina, AAPRESID. p. 27-41.
- 25 Muñoz A, F. 2015. Efectos de la fertilización con vinaza en mezcla con fuentes nitrogenadas (en línea). Colombia, CENICAÑA, Carta Informativa 3(1):18-19. Disponible en [http://www.cenicana.org/pdf\\_privado/carta\\_informativa/2015\\_n1/2015\\_n1.pdf](http://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_informativa/2015_n1/2015_n1.pdf)
- 26 Pérez, O. 2003. Uso y manejo agronómico de cachaza en Guatemala. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala, ATAGUA septiembre: 6-11.
- 27 Pérez, O. 2014. Nutrición y fertilización. *In* El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Artemis Edinter. p. 150.
- 28 Peñaranda, J. 2008. Clarificación de jugo y meladura; Filtración de Lodos. Colombia, LIMUSA. p. 179.
- 29 Rivera, Y; Moreno, L; Herrera, M; Romero, H.M. 2016. La toxicidad por aluminio ( $Al^{3+}$ ) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. Palmas 37(1):11-23.

- 30 Rincones, C; Gómez, R. 1985. Control de malezas en caña de azúcar en Venezuela (en línea). *Caña de Azúcar* 3(1):5-20. Consultado 5 jun 2017. Disponible en [http://sian.inia.gob.ve/revistas\\_ci/canadeazucar/cana0301/texto/control.htm](http://sian.inia.gob.ve/revistas_ci/canadeazucar/cana0301/texto/control.htm)
- 31 Rueda, F; Paz, G. 1998. Influencia del contenido en materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo (en línea). Consultado 3 jun. 2016. Disponible en [https://www.udc.es/files/iux/almacen/articulos/cd23\\_art07.pdf](https://www.udc.es/files/iux/almacen/articulos/cd23_art07.pdf)
- 32 Simone. 2006. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible materia orgánica y actividad biológica (en línea). Consultado 29 jun. 2016. Disponible en [http://www.agrotecnia.com.co/novedades/wp-content/uploads/2016/07/organic\\_matter.pdf](http://www.agrotecnia.com.co/novedades/wp-content/uploads/2016/07/organic_matter.pdf)
- 33 Subiros, F. 1995. Requerimientos edáficos y climáticos. *In* El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. p. 55 y 56.
- 34 Tayun, E. 2011. Evaluación de diferentes dosis de compost de cachaza en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar en plantía en la finca Velásquez del ingenio magdalena S.A. *In* memorias (2011-2012, Ingenio Magdalena, Guatemala). Guatemala p. 20.

## 2.10 Anexos

### 2.10.1 Distribución en campo de los tratamientos evaluados



UNIDAD EXPERIMENTAL
Largo: 8m
Ancho: 6m
Surcos: 4
Área: 48m <sup>2</sup>

### 2.10.2 Rendimientos en toneladas de caña por hectárea según distribución de tratamientos

Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV		
133.33	138.33	109.17	136.46		
142.5	137.92	113.75	139.58		
108.33	116.67	126.67	100		
108.75	141.67	118.75	134.38		
108.75	106.25	151.25	115.83		
127.08	127.5	132.5	97.92		Incorporado
96.67	92.92	76.67	120.83		Superficial
140.42	93.75	76.25	135.83		
108.33	77.92	115.83	125.5		
112.5	70.83	97.92	133.33		
99.58	134.58	96.67	112.5		
132.5	135.83	99.58	123.96		
113.33	100	135.83	123.96		
107.5	99.58	100	137.5		
150.83	170	132.08	153.33		
150	135	134.58	96.67		

Cuadro 15. Resultados del análisis a nivel laboratorio de la respuesta de jugo de la caña de azúcar, Brix, Pol y Pureza Jugo.

Niveles de Material	Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	CV	Mín	Máx	Mediana
0-0-0	Brix Jugo	8	21.59	0.73	0.54	3.40	20.51	22.99	21.66
0-0-0	Pol Jugo	8	19.32	0.89	0.79	4.60	17.90	21.08	19.28
0-0-0	Pureza Jugo	8	89.47	1.85	3.44	2.07	86.69	91.69	89.81
0-0-0	% Jugo	8	72.45	1.35	1.83	1.86	69.40	73.60	72.90
120-20-60	Brix Jugo	8	21.88	0.90	0.80	4.10	20.35	23.31	22.10
120-20-60	Pol Jugo	8	20.01	0.87	0.77	4.37	18.42	21.14	20.34
120-20-60	Pureza Jugo	8	91.44	0.75	0.56	0.82	90.52	92.55	91.39
120-20-60	% Jugo	8	71.95	1.09	1.20	1.52	70.60	73.60	71.60
120-20-60 y 404 Kg de..	Brix Jugo	8	21.25	0.49	0.24	2.29	20.71	22.22	21.19
120-20-60 y 404 Kg de..	Pol Jugo	8	19.21	0.42	0.17	2.18	18.82	20.02	19.07
120-20-60 y 404 Kg de..	Pureza Jugo	8	90.44	0.95	0.90	1.05	88.50	91.43	90.52
120-20-60 y 404 Kg de..	% Jugo	8	72.25	0.93	0.87	1.29	71.20	74.00	72.00

120-20-60 y 808 kg de..	Brix Jugo	8	21.27	0.56	0.32	2.65	20.35	21.98	21.41
120-20-60 y 808 kg de..	Pol Jugo	8	19.30	0.64	0.42	3.34	18.45	19.99	19.57
120-20-60 y 808 kg de..	Pureza Jugo	8	90.75	1.25	1.55	1.37	87.98	91.97	90.73
120-20-60 y 808 kg de..	% Jugo	8	71.48	1.27	1.61	1.78	69.00	73.20	71.60
90-15-45 y 808 kg de ..	Brix Jugo	8	21.68	1.21	1.47	5.59	19.97	23.53	21.56
90-15-45 y 808 kg de ..	Pol Jugo	8	19.55	1.28	1.65	6.57	17.88	21.51	19.35
90-15-45 y 808 kg de ..	Pureza Jugo	8	90.16	1.92	3.70	2.13	86.17	92.59	90.45
90-15-45 y 808 kg de ..	% Jugo	8	71.35	1.12	1.25	1.57	69.40	72.80	71.30

Método	Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	CV	Mín	Máx	Mediana
Incorporado	Brix Jugo	32	21.57	0.94	0.88	4.35	19.63	23.66	21.61
Incorporado	Pol Jugo	32	19.43	1.04	1.08	5.34	17.69	21.72	19.34
Incorporado	Pureza Jugo	32	90.05	1.84	3.38	2.04	86.17	92.59	90.67
Incorporado	% Jugo	32	71.88	1.62	2.62	2.25	67.00	74.00	72.10
Superficial	Brix Jugo	32	21.58	1.07	1.16	4.98	19.56	23.80	21.59
Superficial	Pol Jugo	32	19.52	1.04	1.08	5.33	17.65	21.51	19.35
Superficial	Pureza Jugo	32	90.48	1.36	1.85	1.50	86.65	92.41	90.70
Superficial	% Jugo	32	71.93	0.86	0.73	1.19	70.60	73.60	71.80



### CAPÍTULO III

**PROYECTOS PROFESIONALES REALIZADOS**  
en el Departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena S.A.

### 3.1 Presentación

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en respuesta a los requerimientos por el área de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena, durante el período de febrero a noviembre de 2016 se ejecutaron las investigaciones.

1. Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* Spp.) a la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL para la maduración artificial con tres distintos coadyuvantes como mejoradores en la actividad y efectividad del producto.
2. Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* Spp.) a la aplicación de cuatro productos madurantes tipo no herbicida (STO3, Moddus® 25 EC, Balancer® y Brixxer Plus®) en la variedad de caña CG 98-10.

Los informes de los proyectos se incluyen en los anexos 1 y 2.



## Anexo 1 del capítulo III.

Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL para la maduración artificial con tres distintos coadyuvantes como mejoradores en la actividad y efectividad del producto.

Danny Edén Isaías Santos González  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
2016

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar, en la actualidad representa unos de los cultivos con más extensión territorial importante en la economía del país, ya que además de generar divisas, es fuente de empleo para muchas familias guatemaltecas, generando alrededor de 300,000 empleos directos (ASAZGUA, 2008).

El uso de madurantes en caña de azúcar en Guatemala se inició a finales de la década de los ochenta, tomó auge en los noventa y actualmente es una práctica importante y común en todos los ingenios de la agroindustria azucarera, tanto así que es uno de los principales factores que ha incidido en el incremento del rendimiento de azúcar por tonelada de caña (CENGICAÑA, 2006).

En el siguiente estudio se presenta la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL a dosis de 0.8 y 1.2 l/ha, y tres diferentes productos coadyuvantes a dosis diferentes (Cuadro 1). Para este estudio se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables de respuesta fueron: toneladas de caña por hectárea (t/c), y libras de azúcar por tonelada de caña (lb/tc). De acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del lugar en donde se estableció dicho experimento, no se encontraron respuestas significativas para ninguna de las variables estudiadas a pesar de que a los 35 días después de la aplicación se encontró diferencia estadística. Siete semanas de haberse aplicado los tratamientos se realizó la cosecha observándose que todos los tratamientos se comportaron igual estadísticamente por lo que se recomienda realizar evaluaciones similares en variedades distintas a la presente en este sitio para determinar si existe una respuesta distinta a la obtenida en esta investigación.

## MARCO TEÓRICO

El cultivo de caña de azúcar muestra durante su desarrollo cuatro etapas: *Iniciación*, *macollamiento*, *elongación o gran crecimiento* y *maduración* (Castro y Montúfar, 2004, Bezuidenhout, *et al.*, 2003). La etapa de *iniciación* comprende generalmente desde la emergencia hasta 45 días después de la siembra. La etapa de *macollamiento* tiene una duración promedio de tres meses. La *elongación* ocurre en un periodo de seis meses; esta etapa es la más importante en términos de crecimiento del cultivo. La última etapa es la de *Maduración* con una duración media de 45 días (Espinoza, 2008).

Los maduradores químicos en su mayoría son compuestos con propiedades herbicidas que, aplicados en dosis pequeñas inhiben, fomentan o alteran de alguna manera procesos fisiológicos en la planta de la caña de azúcar (Lavanholi *et al.*, 2002 y Almeida *et al.*, 2003). Citado por (Espinoza, 2008).

La aplicación de maduradores tiene como objetivo alterar o modificar las condiciones morfológicas y fisiológicas de la planta de caña de azúcar. Estas modificaciones pueden ser cualitativas y cuantitativas, tales como: anticipa la maduración, retarda o inhibe el desarrollo vegetativo, promueve el incremento de sacarosa, sobre todo en los entrenudos inmaduros cercanos al ápice del tallo, permite un corte de punta más alto, disminuye el material extraño que va del campo a la fábrica (Trash), provoca el desecamiento temprano del follaje y mejora la eficiencia de la cosecha y la calidad de la materia prima (Villegas, 2003; Lavanholi *et al.*, 2002 y Almeida *et al.*, 2003).

Hay varios factores que afectan el rendimiento de la caña. Entre ellos está la maduración natural del cultivo en la cosecha. Para que exista la madurez natural en el trópico, la planta requiere un diferencial entre temperaturas máximas y mínimas mayor a 10°C (Buenaventura 2000), así como estrés hídrico. A medida que esto sucede se reduce el ritmo de crecimiento y se incrementa la concentración de sacarosa y la pureza del jugo (Saldarriaga 1996). Cuando llega a madurez fisiológica, la producción de materia verde de la caña se reduce y acumula sacarosa en las células parenquimáticas (Viloria, 2003).

Los coadyuvantes por su parte, utilizados complementariamente en la aplicación de los productos químicos, buscan incrementar la actividad del agua en su acción como solvente y la de los ingredientes activos de los agroquímicos como adherentes, dispersantes, humectantes, emulsificantes y penetrantes entre otras, permitiendo así mejorar sustancialmente la actividad y efectividad de un productos químicos desde la fase de preparación de la mezcla hasta su penetración y acción en la planta (Viloria, 2003).

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **Hipótesis**

Los coadyuvantes mejoran la eficiencia de los productos químicos como madurantes aumentando la concentración de sacarosa en la caña de azúcar.

### **Objetivo General**

- Determinar la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL en mezcla con tres distintos coadyuvantes como mejoradores de eficiencia.

### **Objetivos específicos**

- Determinar si existe una diferencia en el rendimiento de toneladas de caña por hectárea al utilizar coadyuvantes en la aplicación de Round-Up® 35.6 SL.
- Determinar el rendimiento en libras por tonelada de caña al utilizar coadyuvantes en la aplicación del madurante Round-Up® 35.6 SL.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización y caracterización del área de estudio**

El experimento se realizó en la finca La Felicidad, ubicada en las coordenadas geográficas (13°59' Latitud N y 90°58' Longitud O) del municipio de la Democracia, Escuintla, Guatemala. Del 17 de marzo al 11 de mayo de 2016 en el lote número 3690209, en la variedad de caña CG 98-10. (SIG, 2016).

Entre las características climáticas de este lugar el cual se sitúa dentro del Estrato Litoral del Océano Pacífico presentó temperaturas promedio de 28.62 °C, con humedad relativa de 74.72% y con una precipitación media de 2.5mm. Presente en la zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (cálido) Sur (bmh-S (c) Sur) (ICC, 2016).

## Manejo del experimento

Los tratamientos se aplicaron en la etapa de maduración de la caña de azúcar que es a los 10 meses de edad, al cabo de siete semanas de haberse aplicado los tratamientos se realizó la cosecha del experimento. Durante cada semana después de haberse aplicado los tratamientos se realizaron muestreos precosecha para determinar el comportamiento de los mismos y mostrar las características como el potencial de rendimiento en libras de azúcar por hectárea. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de calidad azúcar del Ingenio Magdalena S.A.

La aplicación de los tratamientos se realizó simulando una aplicación aérea, utilizando un volumen de agua de 120 a 150 litros de por hectárea, con una bomba motorizada.

Los tonelajes de caña por hectárea se obtuvieron al momento de la cosecha utilizando una pesa, cadenas y una maquina alzada, seguido se tomó la última muestra pre-cosecha para determinar las mediciones tecnológicas para la discusión de los resultados.

## Tratamientos

En base a recomendaciones por parte del Departamento de Investigación Agrícola se establecieron evaluar dos dosis de glifosato los cuales se presentan en el cuadro 1 con tres tipos de coadyuvantes como mejoradores de la acción del madurante glifosato.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con nueve tratamientos (Cuadro 1) y cuatro repeticiones, cada parcela consistió en 90m<sup>2</sup> con un largo de 10m por 6 surcos a 1.5m. Los resultados del rendimiento en toneladas de caña por hectárea y libras de azúcar por tonelada de caña fueron procesados con el programa InfoStat® para un análisis de varianza y prueba de medias según el criterio de *Tukey*.

**Cuadro 1. Dosis del herbicida Round-Up® 35.6 SL (isopropalina) usado como madurante en caña de azúcar y dosis de los productos coadyuvantes estudiados**

<b>No.</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Dosis de Glifosato l/ha.</b>	<b>Dosis de Coadyuvante l/ha.</b>
<b>1</b>	Round-Up® 35.6 SL y Bivert® 6 SL	1.2	0.3
<b>2</b>	Round-Up® 35.6 SL y Bivert® 6 SL	0.8	0.2
<b>3</b>	Round-Up® 35.6 SL	1.2	0
<b>4</b>	Round-Up® 35.6 SL	0.8	0
<b>5</b>	Round-Up® 35.6 SL y Balancer®	1.2	0.125
<b>6</b>	Round-Up® 35.6 SL y Balancer®	0.8	0.125
<b>7</b>	Round-Up® 35.6 SL y Sticker® 27 SL	1.2	0.14
<b>8</b>	Round-Up® 35.6 SL y Sticker® 27 SL	0.8	0.14
<b>9</b>	Testigo (sin madurante)	0	0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Toneladas de caña por hectárea

En base al análisis de varianza para la variable toneladas de caña por hectárea no se presenta diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 2). El tratamiento Round-Up® 35.6 SL 0.8 l/ha y Bivert® 6 SL 0.2 l/ha presentó el mayor rendimiento esto pudo haber sido debido a la dosis baja de glifosato (Figura 1).

### Potencial del rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña

El tratamiento testigo (sin madurante) el cual no fue estimulado a estresarse por medio de madurante llegó a su madurez fisiológica (Viloria, 2003), aumentando el contenido de azúcar desde el día 28 hasta el día 49 (Figura 2). Luego de los 49 días mostró un descenso lo cual indica que la planta uso el contenido de azúcar para crecer y no para seguir acumulando sacarosa.

Al igual que el tratamiento testigo (sin madurante), se observó la misma tendencia para los tratamientos con madurante en la acumulación de azúcar hasta el momento de la cosecha, pero con un descenso severo al termino de los 56 días después de la aplicación por lo que podríamos decir que podría cosecharse a los 42 días (Figura 2).

Se encontró diferencia significativa ( $P<0.05$ ) entre el tratamiento Round-Up® 35.6 SL 0.8 l/ha y Bivert® 6 SL 0.2 l/ha con respecto al testigo y los demás tratamientos con madurantes y los diferentes coadyuvantes a los 35 días después de la aplicación. Pero, aunque hubo diferencia significativa a los 35 días después de la aplicación al final todos los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales.

Round-Up® 35.6 SL 1.2 l/ha y Locker® 0.125 l/ha mantuvieron ventaja respecto a los demás tratamientos a los 42, 49 y 56 días después de la aplicación por lo que indica que el efecto del madurante realiza un impacto en la planta en hacerla inducir a concentrar sacarosa.

**Cuadro 2. Datos del análisis de varianza para los tonelajes de caña por hectárea (InfoStat® 2016)**

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
TCH	36	0.35	0.06	11.83	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1932.33	11	175.67	1.19	0.3459
Tratamientos	1594.35	8	199.29	1.35	0.2688
Bloques	337.98	3	112.66	0.76	0.5267
Error	3549.97	24	147.92		
Total	5482.31	35			

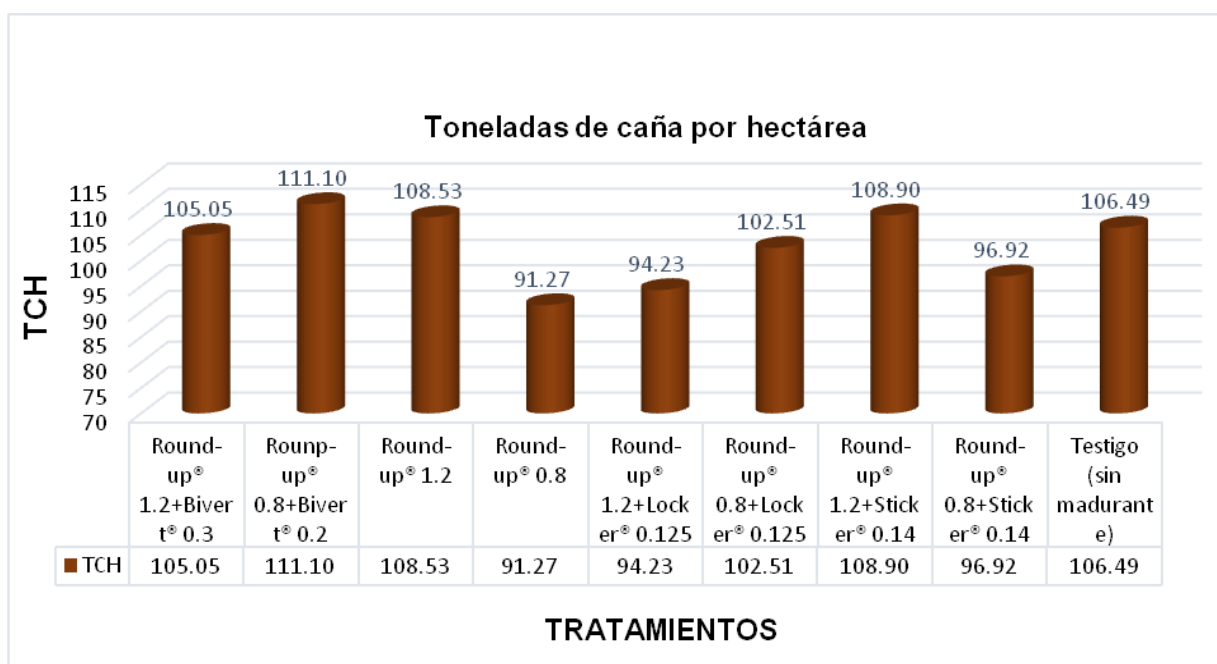


Figura 1. Efecto de los tratamientos evaluados con Round-Up® 35.6 SL y los diferentes coadyuvantes evaluados para este experimento en cuanto a los tonelajes de caña por hectárea.

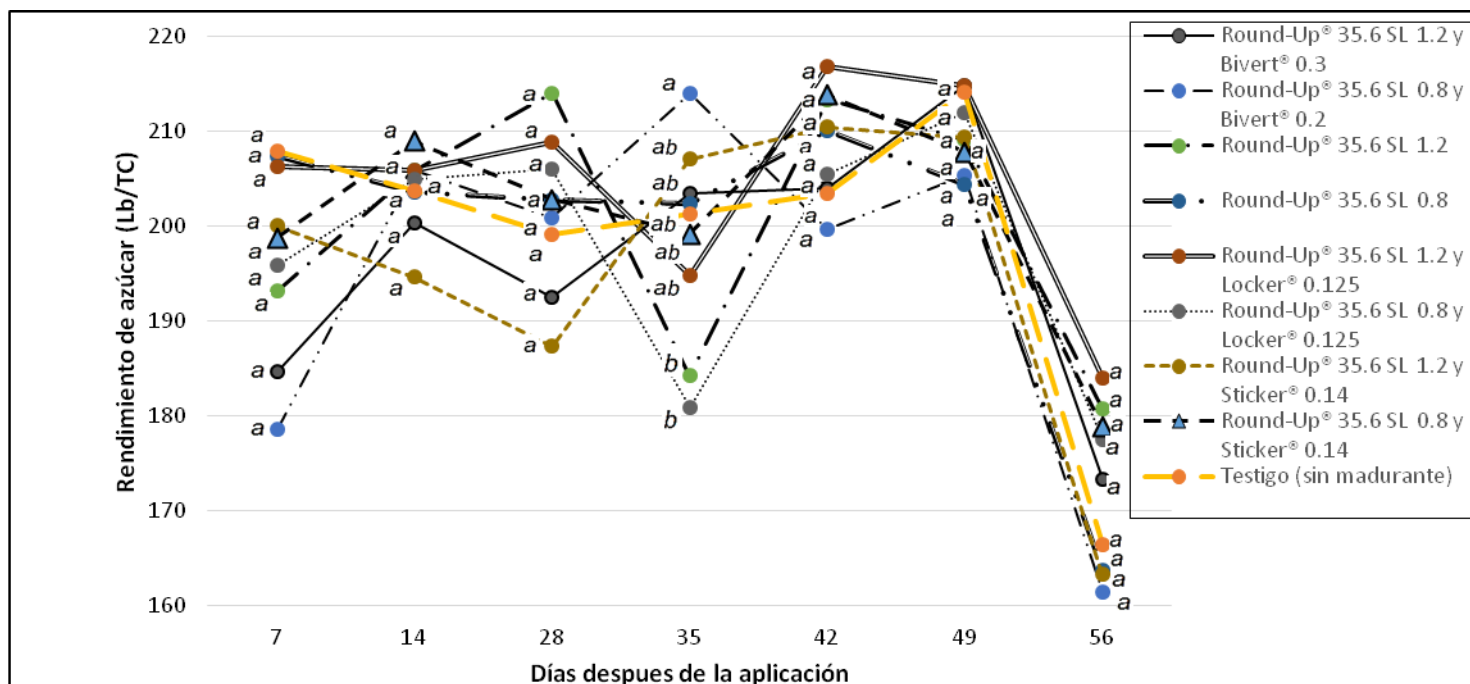


Figura 2. Efecto de los tratamientos evaluados en cuanto al potencial del rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña generado por acción del madurante Round-Up® 35.6 SL y los coadyuvantes evaluados. Medias con la misma letra en el mismo día no son diferentes ( $P < 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

- La aplicación de madurantes a la planta de caña induce a incrementar los rendimientos de azúcar hasta por 18 libras por tonelada de caña producida.
- Round-Up® 35.6 SL 0.8 l/ha y Bivert® 6 SL y 0.2 l/ha fue el tratamiento que presentó el mayor tonelaje con respecto a los demás tratamientos, pero estadísticamente según el análisis de varianza (Cuadro 2) no presentó diferencia con respecto a los demás tratamientos.
- A los 35 días después de la aplicación según el análisis ANDEVA existió diferencia significativa por parte del tratamiento Round-Up® 35.6 SL 0.8 l/ha y Bivert® 6 SL 0.2 l/ha, la mayor concentración de sacarosa fue presentada a los 49 días después de la aplicación.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar los mismos tratamientos en el mismo sitio estudiado y determinar el comportamiento de ellos para una comparación entre tonelajes y libras de azúcar por tonelada de caña.
- Utilizar las mismas concentraciones de madurante y coadyuvantes en variedades distintas y condiciones edafoclimáticas igualmente diferentes.
- Evaluar productos coadyuvantes diferentes a dosis equivalentes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, P.R. 2008. El uso de coadyuvantes y acidificantes en el manejo de agroquímicos en la caña de azúcar en Costa Rica. San José, Costa Rica, Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. p. 2-5. (PDF).
2. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, Guatemala). 2006. Presentación (en línea). Guatemala. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/02ingenios.htm>
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2009. Informe anual 2007-2008. Guatemala. 48 p.
4. Espinoza, G. 2008. Maduración de la caña de azúcar y floración de la caña de azúcar y su manejo. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 12 p. (PDF).
5. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático, Guatemala). 2016. Estación automatizada meteorológica Grijalva. Guatemala. Consultado 29 ago. 2016. Disponible en <https://redmet.icc.orgo.gt/login>
6. Lavanholi M., Das G.D.P.; Casagrande, A.A.; Oliveira, L.A. F.; Fernandes, G.A.; Rosa, R.F. 2002. Aplicação de ethephon e imazapyr em cana-de-açúcar em diferentes épocas e sua influência no florescimento, acidez do caldo e teores de açúcares nos colmos – variedade SP 70-1143. Revista STAB 20:42-45.
7. Saldarriaga, S. 1996. Efecto de los maduradores químicos sobre los rendimientos de caña, azúcar recuperable y calidad de la caña de azúcar. *In* Seminarios Interamericanos de la Caña de Azúcar; Memorias. Miami, Florida, USA. v. 2, 349 p. (Versión en español).
8. Villegas, F. 2003. Maduradores de caña de azúcar. Cali, Colombia, CENICAÑA. 66 p.



9. Vilorio, J. 2003. Aptitud de la tierra para caña de azúcar y banano en el sistema de riego Taguiguay (en línea). Venezuela, Universidad Central de Venezuela. Consultado 10 oct. 2016. Disponible en [http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/Viloria\\_j.htm](http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/Viloria_j.htm)

## Anexo II del capítulo III

Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a la aplicación de cuatro productos madurantes tipo no herbicida (STO3, Moddus® 25 EC, Balancer® y Brixxer Plus®) en la variedad CG 98-10.

Danny Edén Isaías Santos González  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
2016

### INTRODUCCIÓN

El uso de madurantes en Guatemala se inició a finales de la década de los ochenta. Tomó auge en los noventa y actualmente es una práctica importante y común en todos los ingenios a nivel mundial, tanto así que es uno de los principales factores que ha incidido en el incremento en rendimientos de azúcar por tonelada de caña utilizando especialmente el madurante herbicida Round-Up® 35.6 SL (CENGICAÑA, 2006).

Actualmente el uso de madurantes es indispensable para alcanzar los altos estándares en productividad que se pretenden obtener en la industria azucarera tanto a nivel nacional como internacional, pero como consecuencia de utilizar productos madurantes de tipo herbicida como es el caso de Round-Up® 35.6 SL que afecta el rebrote de la caña de azúcar, debido a que es un producto sistémico que penetra en el follaje y se desplaza con los productos de la fotosíntesis (xilema, floema), se busca entre tanto reducir este efecto negativo utilizando como otra alternativa productos no herbicidas.

El madurante herbicida a base de Glifosato presenta efectos secundarios sobre el rebrote de la caña de azúcar en algunas variedades de importancia, principalmente cuando las dosis son altas o cuando existen derivas o efectos de inversión térmica o traslapes, siendo este uno de los problemas principales (Espinoza, 2012).

El presente estudio muestra la respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de cuatro madurantes no herbicidas como reguladores de crecimiento, se utilizó Moddus® 25 EC 1.5 l/ha, Brixxer Plus® 2X 2.0 l/ha, STO3 1.65 l/ha y Nitrate Balancer® (Boro-Molibdeno) 9.0 l/ha en la variedad CG 98-10. Se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar con 4 tratamientos (Cuadro 1) y 4 repeticiones. Las variables de respuesta fueron: los tonelajes de caña por hectárea (TCH), las libras de azúcar por tonelada de caña (lb/t) y el daño en el rebrote de la caña de azúcar.

No se presentó diferencia significativa estadística ( $p>0.05$ ) por efecto de los tratamientos para las variables de t/ha y lb de azúcar por tonelada de caña (Figura 2).

## MARCO TEÓRICO

La maduración de la caña de azúcar se define como la culminación del proceso fisiológico que conlleva a la máxima acumulación de sacarosa en la planta (Humbert, 1970). Según investigaciones se ha encontrado que la absorción excesiva de potasio influye en el ciclo biológico de la planta, ocasionando el adelanto de la maduración y aumento de sacarosa, en comparación con un cultivo que crece en condiciones normales (Dávila, Torres y Echeverri, 1995).

La agroindustria azucarera guatemalteca hace uso de madurantes desde los años ochenta, especialmente con el producto Round-Up® 35.6 SL. No obstante, en los últimos años han observado efecto adverso en el cultivo de caña tanto en campo como en la azúcar ya cristalizada y a cultivos susceptibles (hortícolas), debido a las altas dosis utilizadas (mayores a 1.3 l/ha) por esta razón resulta de mucha importancia la búsqueda de alternativas que mejoren los rendimientos de concentración de sacarosa a través de dosis bajas, comparadas con las actualmente se utilizan.

Los productos llamados madurantes no herbicidas poseen mecanismo de acción como aquellos que contienen nitrato de potasio, boro y otros, el cual actúan como fito-reguladores de crecimiento que son empleados con la finalidad de aumentar la productividad y con el menor impacto sobre el cultivo (Levanholi et al., 2002; Almeida et al. 2003).

El producto Brixser Plus® 2X (Cloruro de mepiquat) a una dosis de 0.8 l/ha produjo en regiones de Patutul, Suchitepeques en la variedad Mex 79-431 los mejores rendimientos en toneladas métricas de caña por hectárea, pero con el inconveniente de un daño leve en el rebrote de la caña de azúcar comparado con el tratamiento Round-Up® 35.6 SL 1.1 l/ha (Montes, 2015).

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### Hipótesis

Los productos madurantes no herbicidas reducen el impacto en el rebrote de la caña de azúcar y aumentan la concentración de sacarosa en la planta.

## **Objetivos**

1. Evaluar el efecto de los productos madurantes no herbicidas en la variedad CG 98-10 para observar si existe un incremento en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar.
2. Determinar si existe diferencia en el rendimiento de toneladas de caña por hectárea y libras de azúcar por tonelada de caña por efecto de los tratamientos madurantes no herbicidas.
3. Determinar el daño en el rebrote de la caña de azúcar por acción de los madurantes no herbicidas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización y caracterización del área de estudio**

El experimento se realizó en la finca La Felicidad, ubicada en las coordenadas geográficas (13°59' Latitud N y 90°58' Longitud O) del municipio de la Democracia, Escuintla, Guatemala. Del 17 de marzo al 11 de mayo de 2016 en el lote número 3690209, en la variedad de caña CG 98-10 (SIG, 2016).

Entre las características climáticas de este lugar el cual se sitúa dentro del Estrato Litoral del Océano Pacífico presentó temperaturas promedio de 28.62 °C, con humedad relativa de 74.72% y con una precipitación media de 2.5mm. Presente en la zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (cálido) Sur (bmh-S (c) Sur) (ICC, 2016).

### **Manejo del experimento**

Los tratamientos se aplicaron en la etapa de maduración de la caña de azúcar que se comprende a los 10 meses de edad, al cabo de siete semanas de haberse aplicado los tratamientos se realizó la cosecha del experimento. Durante cada semana después de haberse aplicado los tratamientos se realizaron muestreos precosecha para determinar el comportamiento de los mismos y mostrar las características como el potencial de rendimiento en libras de azúcar por hectárea. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de jugos del Ingenio Magdalena S.A.

La aplicación de los tratamientos se realizó simulando una aplicación aérea, utilizando un volumen de agua de 120 a 150 litros de por hectárea, con una bomba motorizada.

Los tonelajes de caña se obtuvieron al momento de la cosecha con la ayuda de personal, una alzadora, una pesa analítica y cadenas, seguido a ello se tomó la última muestra postcosecha para los análisis de concentración de sacarosa al momento de la cosecha.

Dichos tratamientos para estudiar fueron dados por el Departamento de Investigación Agrícola del mismo ingenio con la finalidad de observar los resultados de usar estos productos a estas dosificaciones y así determinar el comportamiento y efecto de estos.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos (Cuadro 1) y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental consistió de 90m<sup>2</sup> quedando de 10m de largo por 6 surcos de 1.5m de ancho. Los resultados de toneladas de caña por hectárea y libras de azúcar por tonelada de caña fueron analizados en el software estadístico InfoStat® 2016 para el análisis de varianza como también la prueba de medias según el criterio de *Tukey* a un nivel de confianza del 95%.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Rendimiento en toneladas de caña por hectárea**

El tratamiento testigo presentó el mayor tonelaje respecto a los demás tratamientos aplicados con madurantes no herbicidas (Figura 1), lo cual puede atribuirse que por no ser alterado en su desarrollo fisiológico la planta de caña de azúcar continuó creciendo y por ello presentó el mayor tonelaje. En base al análisis de varianza para esta variable se muestra que no existió diferencia significativa ( $p>0.05$ ) por efecto de los tratamientos Cuadro 2.

### **Concentración de azúcar por tonelada de caña**

El tratamiento testigo (sin madurante) presenta los menores promedios en cuanto al potencial de libras de azúcar por tonelada de caña a los 49 días después de la aplicación, por lo que se puede determinar que los madurantes no herbicidas aplicados con excepción del tratamiento STO3 1.65 l/ha, debido a su efecto en la planta de la caña de azúcar; aumentaron la concentración de sacarosa en la planta (Figura 2).

**Cuadro 1. Dosis de los diferentes productos madurantes no herbicidas empleados para la evaluación de la maduración artificial de la caña de azúcar**

<i>No.</i>	<i>Tratamientos</i>	<i>Dosis lt/ha</i>
1	STO3	1.65
2	Moddus® 25 EC	1.5
3	Nitrate Balancer®	9.0
4	Brixxer Plus®	2.0
5	Testigo (sin madurante)	0.0

Fuente. Ingenio Magdalena S.A.

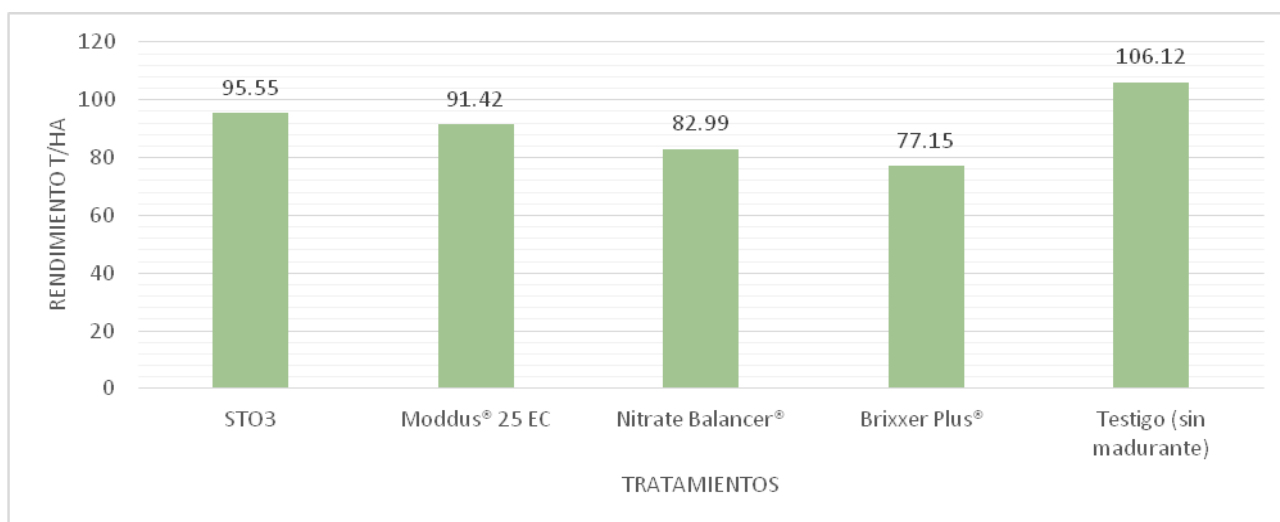


Figura 1. Efecto de los tratamientos madurantes no herbicidas evaluados en cuanto a los tonelajes de caña por hectárea.

### Concentración de azúcar por tonelada de caña

El tratamiento testigo (sin madurante) presenta los menores promedios en cuanto al potencial de libras de azúcar por tonelada de caña a los 49 días después de la aplicación, por lo que se puede determinar que los madurantes no herbicidas aplicados con excepción del tratamiento STO3 1.65 l/ha, debido a su efecto en la planta de la caña de azúcar; aumentaron la concentración de sacarosa en la planta (Figura 2).

Se observa que el madurante no herbicida que presentó el mayor rendimiento promedio a los 49 días después de la aplicación fue el producto Moddus® 25 EC 1.65 l/ha, por lo que podría decir que fue el mejor producto para utilizar para concentrar sacarosa.

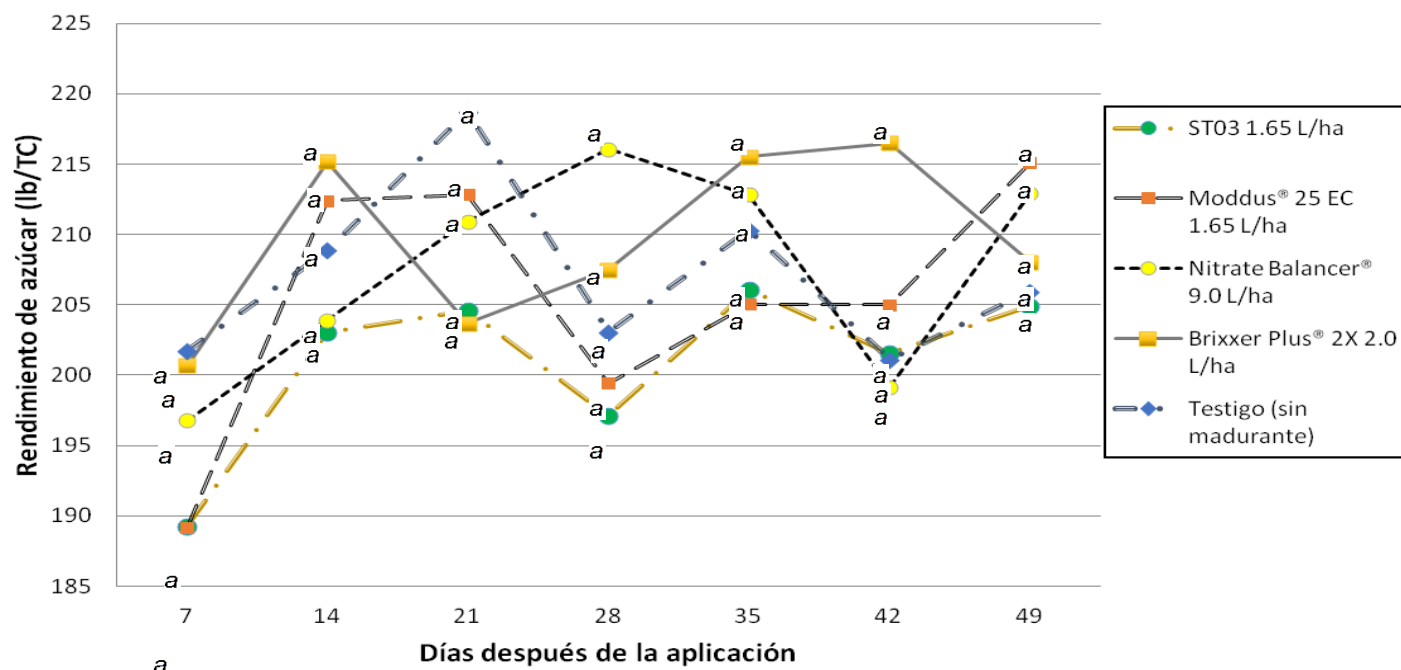
Brixxer Plus® 2.0 l/ha presentó la mayor concentración de sacarosa a los 42 días después de la aplicación por lo que sería la otra opción para utilizarse como un buen producto para acumulación de sacarosa cosechándolo a los 42 días después de la aplicación.

No se encontraron diferencias significativas estadísticas ( $P>0.05$ ) por efecto de los tratamientos empleados en esta investigación (Figura 2).

**Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable de toneladas de caña por hectárea (InfoStat® 2016)**

<b>Análisis de la varianza</b>					
<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>R<sup>2</sup> Aj</i>	<i>CV</i>	
<i>Rendimiento</i>	20	0.49	0.2	17.39	
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo.</i>	2918.36	7	416.91	1.68	0.2057
<i>Tratamiento</i>	2018.89	4	504.72	2.03	0.1539
<i>Bloque</i>	899.47	3	299.82	1.21	0.3494
<i>Error</i>	2982.57	12	248.55		
<i>Total</i>	5900.92	19			

No existió daño en cuanto a totalidad de tallos molederos muertos por fitotoxicidad de parte de los productos evaluados, pero si algún daño según muestra el Cuadro 3; en donde se observa que el producto Moddus® 25 EC presentó el mayor daño. Esto muestra que el utilizar productos para estimular la maduración artificial de la caña de azúcar sea de tipo herbicida o no herbicida repercute según dicha investigación en disminuir el rebrote de la caña de azúcar.



### Rebote de la caña de azúcar

Figura 2. Efecto de los tratamientos en el rendimiento de azúcar en libras por toneladas de caña generado por los productos madurantes no herbicidas. Medias con la misma letra en el mismo día no son significativos ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 3. Ponderación dada según el daño que existió en el rebrote de la caña de azúcar por efecto de los tratamientos a los 30 días después de la cosecha**

Producto	Ponderación	Descripción
Moddus® 25 EC	5	Daño severo
Brixxer Plus®	4	Daño leve
Nitrate Balancer®	3	Daño leve medio
STO3	2	Daño mínimo
Testigo (sin madurante)	1	Planta sin daño (rebrote sano)



## CONCLUSIONES

Los productos madurantes no herbicidas empleados en este estudio indujeron a la planta de la caña de azúcar a incrementar las concentraciones de sacarosa hasta por 10 libras por tonelada de caña.

Por efecto de los tratamientos evaluados no se presentó diferencia significativa estadística para ninguna de las variables estudiadas, pero si se observa un aumento de 10 libras de azúcar por tonelada de caña por medio del producto Moddus® 25 EC 1.65 l/ha., con respecto al tratamiento testigo (sin madurante).

El rebrote de la caña de azúcar se vio afectado en mayor proporción por el producto Moddus® 25 EC en comparación del tratamiento testigo lo cual nos da la pauta que el utilizar ya sea productos herbicidas o no herbicidas el daño por fito-toxicidad de igual forma se da. Queda estudiar cuál de ellos conviene más para utilizarse viendo su utilidad para concentrar azúcar como para disminuir los daños por rebrote.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar estos mismos productos en otra variedad de caña para determinar la respuesta de la planta al ser estimulada a concentrar sacarosa.
- Evaluar dosis equivalentes de otros productos madurantes no herbicidas en la caña de azúcar.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2006. Comité de malezas y madurantes. *In* Memoria; Presentación de resultados de malezas y madurantes zafra 05-06. Espinoza, R. (ed.). Guatemala, Artemis Edinter. p. 35.
2. Dávila, C; Torres, J; Isaac, E. 1995. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. Valle del Cauca, Cali, Colombia, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. p. 120-122.

3. Espinoza, G. 2012. Efecto de madurantes no herbicidas en el cultivo de la caña de azúcar, variedad CP 88-1165. Santa Lucía, Escuintla, Guatemala, Ingenio Madre Tierra. p. 3-5.
4. Humbert, R.P. 1970. El cultivo de la caña de azúcar. Trad. Alfonso González. 2 ed. México, Continental. 503 p.
5. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2016. Estación meteorológica Grijalva. Guatemala. Consultado 29 ago. 2016. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/login>
6. Lavanholi M., Das G.D.P.; Casagrande, A.A.; Oliveira, L.A.F.; Fernandes, G.A.; Rosa R.F. 2002. Aplicação de ethephon e imazapyr em cana-de-açúcar em diferentes épocas e sua influência no florescimento, acidez do caldo e teores de açúcares nos colmos – variedades SP 70-1143. Revista STAB 20:42-45.
7. Montes, C. 2015. Efecto del cloruro de Mepiquat en la maduración de caña de azúcar variedad MEX-79431. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 34 p.
8. SIG (Sistemas de Información Geográfica) y Teledetección. 2016. Ingenio Magdalena.